Der
Bau der Gewölbe.

Ein Handbuch
für
Architekten, Bau-, Maurer- und Zimmermeister,

herausgegeben

von

Dr. C. A. Menzel,
Königl. Universitäts-
Bauinspector.

G. Franke,
Architect.

Zweite sehr vermehrte Auflage.

Mit 250 Holzschnitten.

Halle a/S.

G. Knapps Verlagsbuchhandlung.

1875.

Inhaltsverzeichniß.

§ 1.
Allgemeines.

Unter einem Gewölbe versteht man die Ueberdeckung eines gegebenen Raumes oder einer Maueröffnung, welche aus einzelnen Steinstücken (mit oder ohne Mörtel) so zusammengefügt ist, daß dieselben vermöge ihrer Gestalt und Lage von den benachbarten Steinen und mittelst fester Begrenzungsmauern des Raumes (Widerlager) schwebend erhalten werden. Ein Gewölbe übt sonach nicht allein einen senkrechten Druck auf die Begrenzungsmauern aus, wie ein freitragender Steinbalken, sondern veranlaßt einen bedeutenden Horizontalschub gegen dieselben. Verlängert man die Richtungslinie der einzelnen Steinfugen, so treffen dieselben, bei Kreisbogenformen, im Mittelpunkte derjenigen Bogenlinie zusammen, nach welcher das Gewölbe gekrümmt ist.

Wäre demnach der Bogen, welchen das Gewölbe beschriebe, ein Halbkreis, so würden die Fugenschnitte nach dem Mittelpunkte dieses Halbkreises gehen. Wäre das Gewölbe halbkugelförmig, so würden sämmtliche Fugenschnitte verlängert im Mittelpunkte dieser Halbkugel zusammentreffen u. s. w. Gewölbe, welche aus mehreren Kreisbogenlinien zusammengesetzt sind, haben ebenso viele dergleichen verschiedene Mittelpunkte.

Bei Ellipsen, Parabeln, Kettenlinien u. dgl. treffen die Richtungslinien der Fugen nicht in einem oder mehreren Punkten zusammen, sondern es convergiren dieselben nur stets nach der Innenseite des Bogens oder Gewölbes, je 2 und 2 einen Schnittpunkt bildend.

Der höchste Punkt eines Bogens oder Gewölbes heißt der Scheitel, die unteren Theile die Gewölbeschenkel oder Füße. Der Gewölbestein im Schlusse des Bogens heißt der Schlußstein. Die innere Wölbungsfläche die Leibung. Die auf beiden Seiten des Bogens befindlichen Mauern, worauf die Gewölbschenkel gestützt sind, heißen die Widerlager, und der oberste Theil eines Widerlagers, wo das Gewölbe anfängt, heißt der Kämpfer. Die lichte Weite des Gewölbes (die Entfernung der Widerlagsmauern von einander) heißt die Spannweite. Der höchste Punkt der lichten Oeffnung heißt der Scheitelpunkt und die Höhe vom Kämpfer bis zum Scheitel: die Pfeilhöhe.

Im Alterthume kannte man nur die Form der Gewölbe, aber nicht die jetzt übliche Art zu wölben; erst die Römer wendeten die Gewölbe, namentlich den Rundbogen in größerem Maaßstabe nach dem Vorbilde der Etrusker an. Aber viel früher bildete man schon vielfach Decken aus Stein, welche aus wagerecht quer über den Raum gelegten großen Steinträgern bestanden, deren Zwischenräume man oberhalb wieder durch Steinstücke von kleineren Abmessungen bedeckte, wobei sämmtliche Stoßfugen senkrecht waren.

Wurde der zu bedeckende Raum zu breit gefunden, oder hatte man nicht so großes Gestein, um Träger von einer Mauer bis zur andern daraus bilden zu können, so stellte man Pfeiler oder Säulen im Innern des Raumes auf und lagerte hierauf die Trägersteine, welche oberhalb mit kleineren Stücken wieder überdeckt wurden.

Auf diese Weise entstanden die Tempeldecken des Alterthums, und wenn man ihre mehr als 3000jährige Dauer, wie bei den ägyptischen Tempeln in Erwägung zieht: so zeigt sich wohl, daß diese Art der Ueberdeckung eine sehr feste ist.

War man in damaliger Zeit genöthigt, einen größeren Raum zu überdecken, ohne daß man Säulen oder Pfeiler darin aufstellen wollte oder konnte, so ließ man jede Steinschicht zweier einander gegenüberstehenden Mauern um ein Weniges vor der nächstuntern vorstehen, so daß der Raum nach oben hin immer enger und die Oeffnung zuletzt so klein wurde, daß man sie mit einem Steine zudecken konnte. Man nannte dieses Vorstehen jeder nächstoberen Schicht die Ueberkragung und einzelne solcher vorstehenden Steine Kragsteine.

Waren die Mauern gleichlaufend mit einander, so bildete sich eine gleichmäßig fortlaufende Decke, welche unten breit, nach oben spitz zulief.

War der Grundriß der Mauern ein Kreis, so bildete das Ganze einen nach oben zugespitzten Kegel, dessen Steinschichten alle wagerecht lagen, sich nach oben verengten und zuletzt mit einem ebenfalls wagerecht liegenden Steine, welcher die oberste Oeffnung schloß, bedeckt waren.

Es sind solche Rundbauten, die man unter dem Namen Thesauren (Schatzhäuser) kennt, bis zu 20 und mehreren Metern lichtem Durchmesser vorhanden.

Zu bemerken ist, daß hierbei die wagerechten Schichten so geschnitten sind, daß ihre Stoßfugen jedesmal nach dem Mittelpunkte des zugehörigen Kreises gehen; also in diesen Gebäuden die Erfindung des Fugenschnittes für Gewölbe schon sehr nahe lag.

Ebenso mußte man sich sehr bald überzeugt haben, daß, wenn die Ueberkragung nach einer einfachen geraden Linie (bei großer Länge) geschah, diese gerade Linie leicht zusammenbrach, daß aber die Steine nach einer etwas gekrümmten Linie (im Spitzbogen) überkragt, viel mehr Standfähigkeit haben mußten. Deshalb findet man alle mit Ueberkragung gebildeten Decken des Alterthums nach einem mehr oder weniger steilen Spitzbogen gebildet, wobei aber, wie bereits erwähnt, die sämmtlichen Lagerfugen wagerecht, die sämmtlichen Stoßfugen senkrecht waren.

Der Vortheil dieses ganz einfachen Systems der Deckenbildung war, daß bei der wagerechten Lagerung der Steine kein Seitenschub eintrat, sondern nur ein senkrechter von oben stattfand. Man brauchte deshalb hierbei die Seitenmauern nicht zu verstärken, weil sie keinem Seitenschube zu widerstehen hatten, sondern man brauchte sie nur so stark zu machen, daß sie sich selbst zu tragen im Stande waren.

Es ist also in diesem ganzen Systeme kein Bestreben nach Bewegung, sondern das Ganze ist in immerwährender und vollkommener Ruhe und daher seine große Festigkeit und lange Daner.

Der Querschnitt einzelner großer Steine, welche, frei über einem gegebenen Raum liegend, die Decke desselben bilden, ist gewöhnlich so, daß die Breite vier Theile, die Höhe fünf Theile enthält.

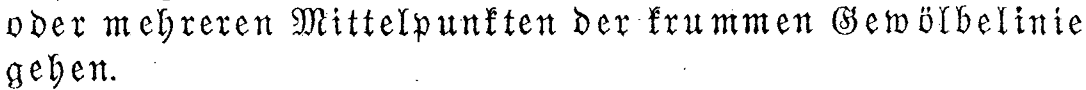
Haben solche Deckensteine keine Last zu tragen, außer ihrer eignen, so können sie, je nach ihrer Festigkeit, sieben, höchstens neunmal so weit frei liegen, als sie hoch sind, bei oben erwähntem Verhältniß der Breite zur Höhe.

Sind sie dagegen belastet (wie z. B. der Architrav der Säulen durch Querbalken, Fries und Dachgesims), so können sie nur dreimal höchstens fünfmal so weit frei liegen, als sie hoch sind, je nach Verhältniß der Belastung und der eignen Festigkeit des Steins. Um einem über einer Oeffnung wagerecht liegenden Steine mehr Unterstützung zu geben, stellte man die beiden Steine, welche ihn trugen, öfters nicht senkrecht, sondern man neigte sie so gegen einander, daß sie oben enger standen, als unten und daß mithin der Deckstein nicht so weit frei zu liegen kam, als er gelegen haben würde, wenn man die beiden Steinstützen senkrecht gestellt hätte. Hierdurch erhielt der wagerechte Stein um so mehr Tragbarkeit, als man die Stützen oberhalb gegen einander neigte.

War der Deckstein einer solchen Maueröffnung, wie gewöhnlich, noch mit hohem Mauerwerk überdeckt, so mußte man wie in

Fig. 1 bedacht sein, ihm die Last abzunehmen, welches dadurch geschah, daß man auf ihn zwei große Steine so im Dreieck aufrichtete, daß die Spitze des Dreiecks nach oben gerichtet war, wodurch der Druck der oberen Mauer von dem Decksteine ab, nach der daneben befindlichen Mauer und auf die Stützen des Decksteines geleitet wurde.

Fig. 1.



Eine solche Anordnung findet man z. B. an dem antiken Stadtthore zu Mykene und an den Eingängen der ägyptischen Pyramiden.

Gewölbe, aus einzelnen Steinen so gebildet, daß die Deckenfläche eine gekrümmte Linie macht, und daß die Fugenschnitte nach einem oder mehreren Mittelpunkten der krummen Gewölbelinie gehen.

Hierbei können verschiedene Fälle eintreten. Entweder die Gewölbelinie ist eine stetige Linie (die ohne Knick von einem Punkte ihres Auflagers bis zum andern geht), wie der Halbkreis, der flache Kreisbogen, die Ellipse ꝛc.; oder die Gewölbelinie ist keine stetige Linie, sondern eine gebrochene (sie hat also einen Knick), wie der Spitzbogen.

In allen diesen Fällen geht der Fugenschnitt verlängert nach den Mittelpunkten derjenigen krummen Linien, nach welchen das Gewölbe sich selbst biegt.

Ferner kann bei solchen Gewölben noch der wesentliche Unterschied eintreten, daß ihre einzelnen Steine durch Mörtel verbunden sind oder nicht.

Sind die einzelnen Steine durch Mörtel verbunden, so werden solche Gewölbe, so lange der Mörtel nicht getrocknet ist, eine Masse bilden, welche nach Bewegung strebt, weil die einzelnen Steine sowohl das Bestreben haben werden, einem Schube nach der Seite, als dem senkrechten Drucke zu folgen. Dies Bestreben nach Bewegung, namentlich der Seitenschub, wird immer mehr aufhören, je fester der Mörtel wird, weil dadurch das Gewölbe immer mehr zu einer zusammenhängenden Masse, gleichsam zu einem einzigen ausgehöhlten Steine wird.

So lange der Mörtel in dem Zustande vollkommener Erhärtung bleibt, wird nur senkrechter Druck auf die Mauern stattfinden; machen ihn aber äußere Einwirkungen, z. B. Nässe, wieder weich, so ist das Bestreben nach Bewegung wieder vorhanden. Man muß also alle

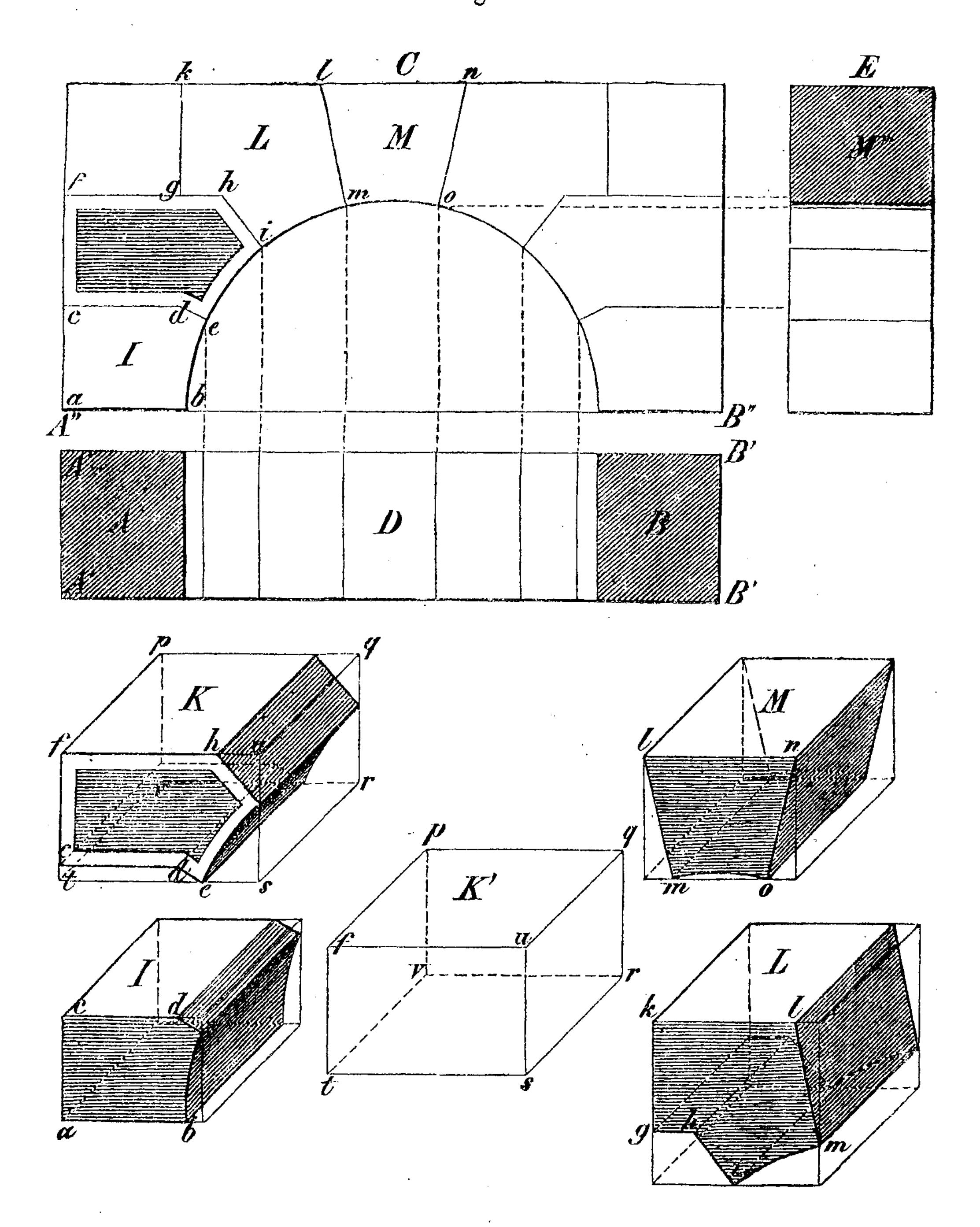
Arten von dergleichen Gewölben möglichst vor eindringender Nässe schützen.

Wachsen die Steine, aus welchen man ein Gewölbe bildet, bis zu einer gewissen Größe, so daß sie auf keine Weise mehr durch irgend einen Mörtel zusammengehalten werden könnten, weil die Last der einzelnen Steine zu groß ist, so muß die Haltbarkeit des Gewölbes nur allein durch den Fugenschnitt hergestellt werden. Durch diesen hält sich ein Stein so auf dem andern, daß er nicht herausgleiten kann, und durch Einlegen des obersten oder Schlußsteines wird eine so vollständige Zusammenpressung hervorgebracht, daß das Ganze auch ohne Mörtelverbindung haltbar wird

In einem solchen Gewölbe ohne Mörtel aber behält jeder einzelne Stein ein immerwährendes Bestreben nach Bewegung. Der Seitenschub hört also nie auf, und es muß deßhalb alles Mögliche gethan werden, ihm in solchem Grade für immer entgegen zu wirken, daß das Gewölbe nicht die Mauern umschiebe, auf denen es ruht.

Dazu müssen besonders die Lagerflächen der einzelnen Steine vollständig eben gearbeitet sein, während in dem anderen gewöhnlichen Fall, wo die Lagerflächen rauh gespitzt sind, eine 1—2zm starke Mörtelfuge gegeben wird, um die Unebenheiten auszugleichen und ein Absprengen der Kanten beim Setzen des Gewölbes zu vermeiden. Immer muß die Festigkeit nicht durch den Mörtel, sondern durch die Construction, namentlich durch den Verband hervorgebracht werden und mit Rücksicht darauf ist die Form der einzelnen Wölbsteine festzustellen. Diese Form ist im allgemeinen eine keilförmige, so daß jeder einzelne Stein für sich wölbt und demnach nicht wie bei vielen Ziegelgewölben, eine keilförmige Mörtellage dazu nöthig ist. Außerdem wendet man bisweilen für kleinere, wie für große Gewölbe, die allerdings nicht empfehlenswerthen Steine mit Haken an, wodurch die einzelnen Wölbsteine zum Theil auf einander hängen und der Seitenschub vermindert wird. Die Figur 2 enthält Zeichnungen zu einem halbkreisförmigen Bogen, der, nach der Tiefe noch mehr verlängert, ein Tonnengewölbe bilden würde. C zeigt die vordere Ansicht, D den Grundriß, E den Durchschnitt. Die Gestaltung der einzelnen Steine IKLM nach dem Fugenschnitt ist in den einzelnen Fig. IKLM in der früher erwähnten Perspective dargestellt. K' zeigt den prismatischen Stein, aus dem der bearbeitete Wölbstein K erhalten werden kann. Die keilförmigen Steine sind so gelegt, daß sie einander im Gleichgewicht halten und kein weiteres Binde- und Zwischenmittel

Fig. 2.



nöthig ist, wenn ihre Fugenflächen genau und eben bearbeitet sind. Die Pfeiler A und B, worauf der Bogen ruht, heißen die Widerlager (bei Brücken: Stirnpfeiler, Landvesten, Ort- und Endpfeiler), oder wenn zwei nebeneinander befindliche Bogen oder Gewölbe darauf ruhen, blos Pfeiler (auch Mittel-, Zwischenpfeiler). Die ersten Gewölbesteine unterhalb (wie I) heißen die Anfänger (auch Ruhesteine.) Der oberste Stein M heißt der Schlußstein. Die vordere Ansicht eines Gewölbebogens heißt seine Stirnfläche. Der oberste Theil des

Widerlagers, worauf die untersten Gewölbesteine ruhen, heißt der Kämpfer.

Je weniger einzelne Steine in einem Gewölbe verwendet werden, je größer also dieselben sind, desto weniger entstehen Fugen und desto fester wird das Gewölbe.

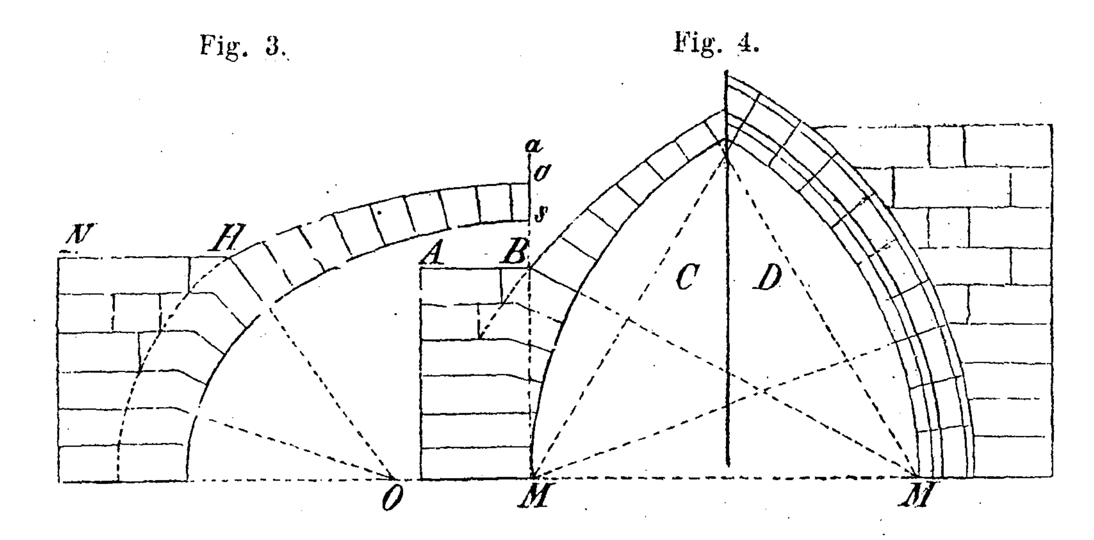
In Fig. 2 bei dem Steine L sieht man einen sogen. Haken kgh an den Stein angearbeitet. Diese Haken dienen dazu, dem Steine auch außerdem, daß er im Gleichgewichte liegt, noch mehr Haltung durch das wagerechte Auflager bei gh zu geben. Hierdurch wird ebenfalls ein Theil des Seitenschubes des Steines L vermindert. Diese Haken sind jedoch sehr gefährlich, da das Setzen des Bogens in den Gewölbfugen und den Horizontalfugen verschieden ist, man muß wenigstens darauf sehen, daß sie nicht zu lang (in der Linie gh) sein dürfen, weil sie sonst bei dem Punkte h leicht abbrechen, besonders wenn die Bogen eine weite Spannung haben und folglich die Pressungen der Steine sehr groß sind. Auch ist die genaueste Arbeit der einzelnen Steine-, sowie ihrer Lager- und Fugenflächen, durchaus erforderlich. Ebenso muß man sehr spitze Steinwinkel, etwa, wie sie im Schlußsteine M bei l entstehen könnten, vermeiden, und wenn solche eintreten, lieber die zu spitzen Kanten senkrecht etwas brechen, weil sonst dergleichen zu spitze Stückchen, besonders bei weichem Gestein, leicht zermalmt werden und dadurch die Haltbarkeit gefährden.

Fig. 3 zeigt die Hälfte eines elliptischen Bogens mit seiner Steineintheilung. HN ist die Höhe der Hintermauerung, um das Widerlager zu verstärken, a der Scheitel, as die Stärke des Schlußsteines. O der Mittelpunkt für den untern Theil des Bogens.

Fig. 4 D zeigt die Hälfte eines gleich starken Spitzbogengewölbes, Fig. 4 C die Hälfte eines anderen, das nach dem Scheitel hin schwächer wird. MM sind die Anfänge des Bogens, AB die Höhe der Hintermauerung. Die Fugenschnitte aus sämmtlichen Theilpunkten gehen nach den zugehörigen Mittelpunkten MM.

Es wird, wenn man im Stande ist, die einzelnen Steine eines Tonnengewölbes (wie bei Fig. 2) auszukragen, und die sogenannten Chablonen dazu zu finden, auch nicht schwer fallen, dieselben für andere Gestalten des Bogens, als Ellipse, Spitzbogen ꝛc. aufzufinden.

Auch die Gewölbe ohne Mörtel, welche aus großen Schnittsteinen gefertigt werden, muß man von außen gegen Eindringen der Nässe schützen, namentlich in rauheren Klimaten, denn wenn Wasser in die



Fugen eindringt und **gefriert**, so nimmt es einen größeren Raum ein und sprengt selbst die stärksten Gewölbe. Deshalb pflegt man die Fugen von Schnittsteingewölben mit wasserdichtem Mörtel von oben her auszufüllen, oder die ganze obere Fläche des Gewölbes mit einem wasserdichtem Gusse zu überziehen.

Gewölbe aus Gußwerk. Um diese zu bewerkstelligen, wird ein Gemisch von einzelnen **leichten** Steinbrocken mit Mörtel vermischt (Béton), auf eine hölzerne Verschalung, welche nach oben die Form des Gewölbes hat, gegossen. Der Guß erhält nach Maßgabe der Größe des Gewölbes eine bestimmte Dicke.

Wenn dieser Guß gehörig erhärtet ist, ist das Gewölbe fertig und die darunter befindliche Holzschalung wird alsdann entfernt.

Man sieht auf den ersten Blick, daß diese Art der Anfertigung die meiste Zeit zum Trocknen braucht, da eine große Masse Mörtel dabei angewandt wird; man sieht aber auch, daß, wenn das Mischungsmaterial, welches man dem Mörtel zusetzt, sehr leicht ist, dadurch Gewölbe entstehen müssen, welche viel leichter sind, als Gewölbe von gebrannten Mauersteinen, und natürlich noch um vieles leichter, als solche von Hau- oder Schnittsteinen. Um nun die größtmögliche Leichtigkeit hervorzubringen, hat man sich zu solchen Gewölben gewöhnlich leichter Gesteine, wie Bimsstein Tuff 2c. bedient.

Bei sehr großen Gewölben dieser Art hat man, um eine leichtere Ausführung und größere Sicherheit zu erzielen, auch folgendes Verfahren angewendet.

Man hat einzelne Bogen (sogenannte Gurte) von gebrannten Mauersteinen gespannt; zwischen Quergurte in bestimmten Entfernungen eingewölbt, so daß hohle, kastenartige Oeffnungen in der

Gewölbedecke entstanden. Die Räume füllte man alsdann mit leichtem Gußwerk aus, wodurch das Gewölbe um so leichter wurde, je größer verhältnißmäßig die hohlen Räume waren.

Hierdurch erreichte man zugleich, daß die Gußmasse weniger Risse bei dem Trocknen bekam, als wenn man die ganze große Fläche nur aus Gußwerk gefertigt hätte.

Ist nun ein solches Gebäude von Gußwerk gänzlich ausgetrocknet, so bildet das Ganze ebenfalls nur, so zu sagen, einen einzigen großen Deckstein, welcher keinen Seitenschub, sondern nur einen senkrechten Druck ausübt.

Aber auch bei diesen Gewölben ist die größte Vorsicht anzuwenden, daß der Guß nicht durch Nässe erweiche. Deshalb ist es sehr zweckmäßig, dabei einen wasserdichten (hydraulischen) Mörtel anzuwenden, der bei der Erhärtung wenig oder gar nicht schwindet, weil dieser erstens bekanntlich der Nässe wiedersteht und zweitens auch schnell trocknet, wodurch das Gewölbe selbst in kürzester Zeit zu einer Masse sich verbindet.

Wendet man aber Wassermörtel oder Cemente an, so ist auch bei dem Gusse selbst doppelte Vorsicht nöthig, eben wegen des schnellen Erhärten des Mörtels.

Ueberblicken wir die angeführten Arten von massiven Raumüberdeckungen, so ergiebt sich Folgendes:

1) Die steinernen Decken aus wagerecht freischwebenden, auf beiden Endpunkten aufliegenden Balken resp. Deckplatten üben zwar keinen Seitenschub aus, erfordern aber vorzügliches Material und gute Arbeit, wodurch sie theuer werden, und leisten in der Raumüberdeckung sehr wenig, wegen der sehr nahe aneinander anzuordnenden Stützen.

2) Gewölbe aus Hausteinen mit Fugenschnitt ohne Mörtel verbunden erfordern sehr starke Unterstützungsmauern, des immerwährenden Seitenschubes wegen, können aber bei genügenden Widerlagern über beliebig große Räume frei gespannt werden.

3) Gewölbe von gebrannten Steinen mit Mörtel verbunden erhärten beinahe zu einer Masse, und üben demnach im erhärteten Zustande weniger Seitenschub aus als ad 2, erfordern also weniger Widerlager und viel weniger Kosten.

4) Gewölbe aus Gußwerk können mit dem geringsten Gewichte hergestellt werden und üben nach der Erhärtung gar keinen Seitenschub aus, sobald sie nicht Risse erhalten haben. Sie setzen natürlich ein vorzügliches Mörtelmaterial voraus.

Das Zerbröckeln oder Zerbrechen der Steine durch den Druck fängt an den Kanten an, und zwar um so früher, je dünner die Steine sind; darum muß ein aus flacheren Steinen bestehendes Gewölbe doch stärker gemacht werden, als ein anderes von demselben Material, dessen Steine dicker sind: auch sind an den Enden, welche die äußere und innere Gewölbefläche bilden, die Mauersteine nicht so fest vom Kalkmörtel unterstützt, als tiefer im Innern des Gewölbes, so daß man bei einem 30^{zm} starken Gewölbe nur 25^{zm}, also $^5/_6$ derselben rechnen kann.

Die steinernen Ueberdeckungen von Maueröffnungen, welche in den folgenden Figuren von 5—7 dargestellt sind, zeigen einen allmähligen Uebergang zum Fugenschnitt.

Figur 5 zeigt eine wagerechte Decke. Denkt man sich den Deckstein in der Mitte durchschnitten, so würde er sich nur im Gleichgewicht halten können, wenn er so weit über Punkt A herausgeschoben würde, bis er um eben so viel nach links, wie nach rechts stünde; oder man müßte über B eine Aufmauerung herstellen, welche ihn im Gleichgewicht hielte.

Fig. 5.

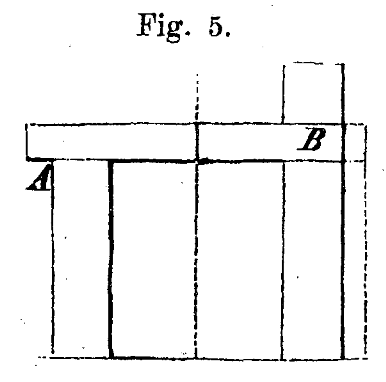
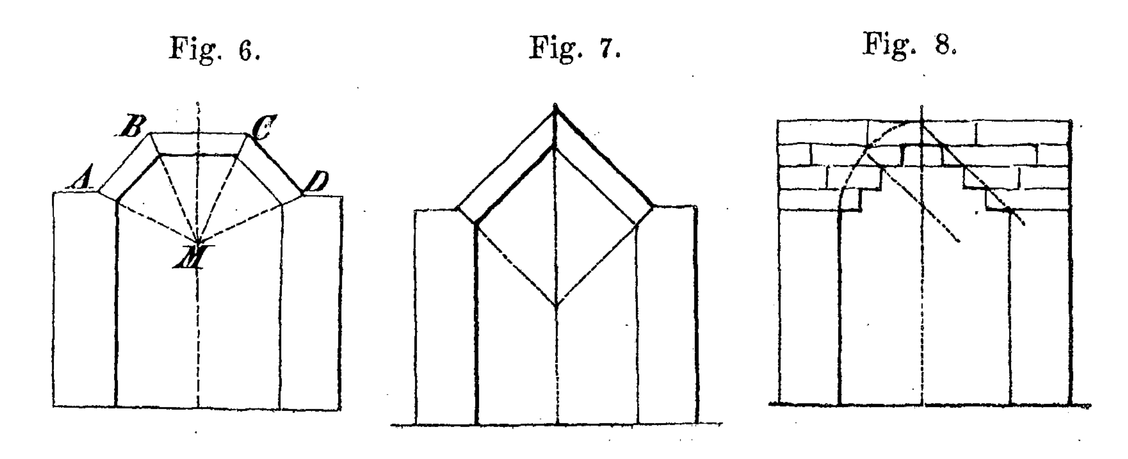


Fig. 6 zeigt eine Bedeckung durch Ueberkragung der einzelnen Steine.

Fig. 7 eine eben solche durch 2 schräg gegeneinander gestellte Steine, wobei schon ein Fugenschnitt nach einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte stattfindet.

In Fig 8 endlich bedürfen die drei Stücke AB, BC und CD schon eines vollständigen Fugenschnittes nach dem Punkte M, wenn die einzelnen Stücke einander stützen und tragen sollen.

Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.



§ 2.

Gewölbelinien.

Man versteht darunter jede gekrümmte Linie, nach welcher eine Gewölbelinie gebogen und nach welcher der Fugenschnitt angeordnet ist.

Der Halbkreis ist höchst wahrscheinlich diejenige Linie gewesen, nach welcher man Wölbungen zuerst angeordnet hat, und zwar aus zweierlei Gründen:

Erstens war man mit dem Fugenschnitte desselben schon durch die zirkelrunde Grundrißform z. B. der Schatzhäuser bekannt geworden (§ 1), und es bedurfte nur des Umstandes, daß man den bisher wagerecht im Grundriß angewendeten Bogen in senkrechter Stellung versuchte, um den ersten und wichtigsten Schritt zur Wölbung mit Fugenschnitt gethan zu haben.

Zweitens spricht die im Alterthume fast ausschließliche Anwendung des Halbkreises und der Kreislinie überhaupt dafür, daß sie die ersten waren, welche angewendet wurden, obgleich man sehr früh im Mittelalter auch andere Bogen angewendet findet, wie den Spitzbogen, den sogenannten Hufeisenbogen 2c.

Die Gewohnheit im Alterthume, mit großen Quadern (Hausteinen, Schnittsteinen) zu bauen, veranlaßte, daß zuerst die Gewölbe ohne Mörtel nur durch Verdübelung verbunden, aufgerichtet wurden.

Das erste Bedürfniß einen Bogen zu wölben trat wohl da ein wo man eine große Oeffnung in einer Mauer bilden wollte. Hieraus entstanden die sogenannten Gurtbögen. Als diese Anordnung gelungen war, versuchte man ein solches Gewölbe zu verlängern, und es ergab sich daraus das sogenannte Tonnengewölbe, welches einen halben hohlen Cylinder bildet.

Schneiden sich zwei Halbcylinder oder Tonnengewölbe von gleichem Durchmesser in gleich hoher Lage wie Fig. 9 von oben und Fig. 10 von unten zeigt, so entstehen zweierlei Arten von Gewölben. Der obere Theil abcd bildet ein sogenanntes Kreuzgewölbe, der untere abcd ein Klostergewölbe. Ersteres besteht aus 4 Kappen, das letztere aus 4 sogenannten Walmen.

Man kann leicht aus 5, 6 oder noch mehr Kappen oder Walmen Gewölbe zusammensetzen, wie Fig. 11 und Fig. 12 zeigt, und erhält im ersteren Falle 5, 6 oder mehrseitige Kreuzgewölbe, im zweiten dergleichen Klostergewölbe.

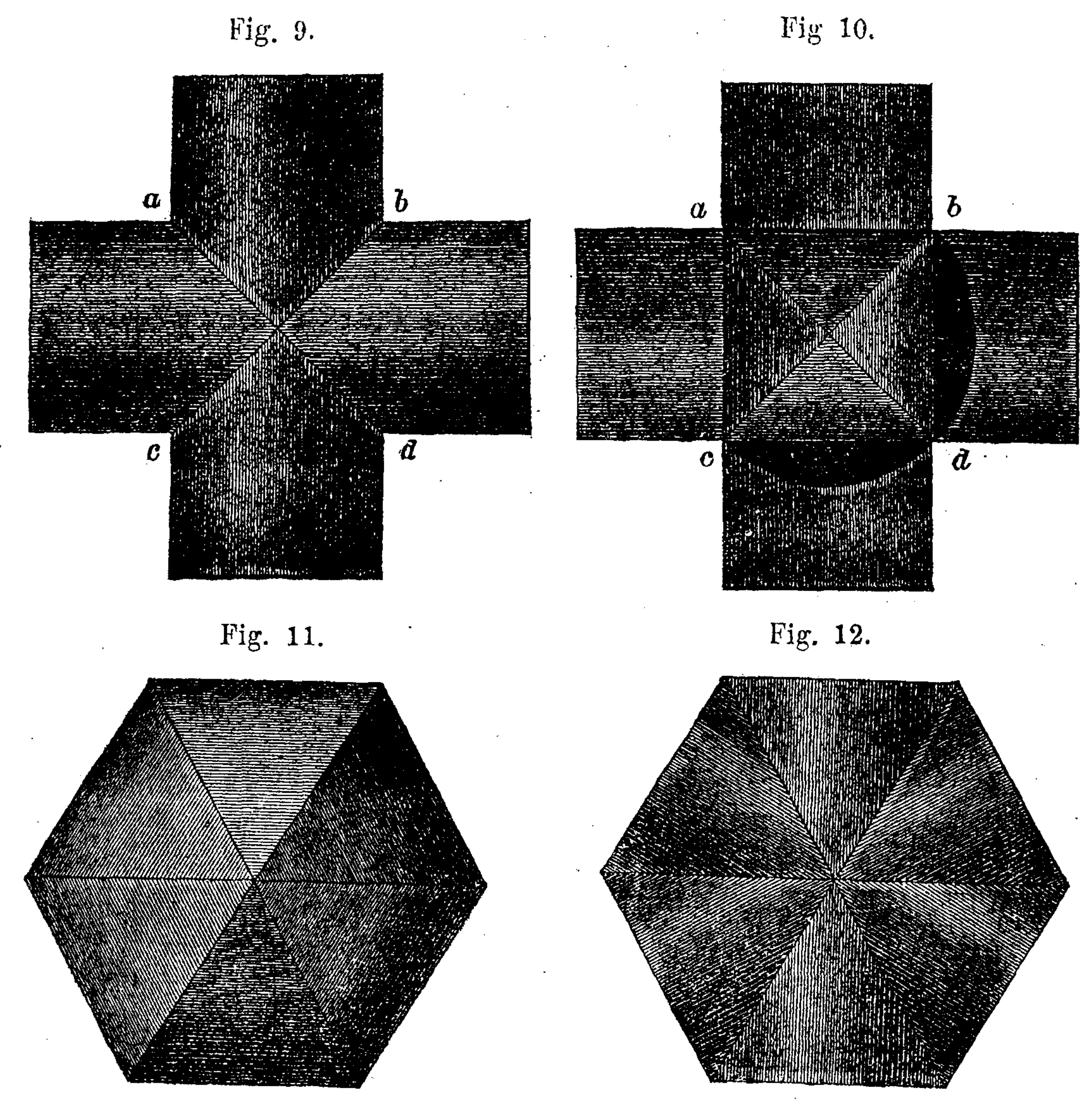


Fig. 9. Fig 10. Fig. 11. Fig. 12.

Ein vielseitiges Klostergewölbe und vorzugsweise ein solches mit unendlich vielen Seiten nennt man eine Kuppel.

Mit dem Tonnengewölbe, der Kreuzkappe und der Kuppel war man im Stande, alle nur vorkommenden Fälle zu befriedigen, wenn man den Halbkreis als Gewölbelinie behielt, und daher kam es auch, daß sich viele Jahrhunderte hindurch kein anderes System geltend machte.

Der flache Bogen oder ein kleineres Stück eines Kreises wurde als Bogen und Gewölbelinie alsdann angewendet, wenn keine genügende Höhe vorhanden war, um den höheren Halbkreis gebrauchen zu können. Unter dieser Gestalt entsteht das sogenannte Kappengewölbe. Es ist zwar im Ganzen weniger fest, als das Gewölbe im Halbkreise, und kann deshalb auch nur bei geringen Abmessungen verwendet werden; allein da es mit unsern jetzigen Bedürfnissen, besonders in der bürgerlichen Baukunst, sehr wohl übereinstimmt

so hat es in neuester Zeit besonders wegen seiner Wohlfeilheit fast alle anderen Arten von Gewölben für die gewöhnlichen Fälle verdrängt.

Nimmt man bei einer runden Gewölbeform die Höhe geringer an als die halbe Weite des Raumes, so entsteht der sogenannte gedrückte Bogen, das elliptische Gewölbe oder der Korbbogen.

Hängt man eine Kette an ihren beiden Enden auf und zeichnet die Linie vor, welche sie in diesem hängenden Zustande beschreibt, so erhält man eine Kettenlinie. Denkt man sich diese hängende Kettenlinie aufrecht gestellt und nach dem zugehörigen Fugenschnitte ein Gewölbe zusammengesetzt, so entsteht ein Gewölbe nach der Kettenlinie.

Besteht die Gewölbelinie aus zwei sich im Scheitelpunkte schneidenden Gewölbelinien, so entsteht der sogenannte Spitzbogen oder das Gothische Gewölbe.

Außer diesen üblichen Gewölbelinien bedient man sich in sehr seltenen Fällen der Parabel.

Bei der Wahl der Gewölbelinie kommt es für die bequeme Anwendung bei der Ausführung besonders darauf an, daß die Fugenschnitte möglichst gleichförmig laufen, die einzelnen Steine also möglichst alle eine gleiche Gestalt erhalten können.

Diesen Vortheil gewähren der Halbkreis, der ganze Kreis, das Kreisstück und der einfache Spitzbogen als Gewölbelinien.

Aus je mehr Mittelpunkten eine Gewölbelinie gezogen ist, um so schwieriger und abwechselnder wird die Form der einzelnen Steinstücke. Dies wird namentlich bei Hausteinen fühlbar, verzögert die Arbeit und macht sie verwickelter und schwieriger, weshalb man immer gut thun wird, die oben genannten Linien als Hauptgewölbelinien zu wählen.

Viel schwieriger und verschiedenartiger aber noch als für den Korbbogen sind die Steine für elliptische, parabolische und Gewölbe nach der Kettenlinie herzustellen.

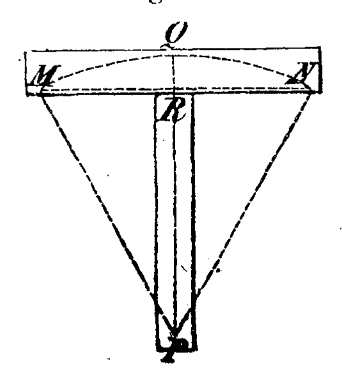
Bei Gewölben, welche aus kleinen durch Mörtel verbundenen Steinen bestehen, fällt ein großer Theil der eben genannten Schwierigkeiten deshalb fort, weil erstens ihre Gestaltung nicht dieselbe Genauigkeit und Schärfe erfordret, wie die Schnittsteine, und weil der Mörtel, wenn er nach und nach erhärtet, immer das Beste für die Haltbarkeit des Gewölbes thut. Es werden also in diesem Falle Gewölbe, deren Linien aus mehreren Mittelpunkten gezogen sind,

leichter zu erbauen sein, als wenn man sie aus Schnittsteinen gebildet hätte.

Nachdem wir nun der Gewölbelinien im Allgemeinen gedacht haben, wollen wir die Aufzeichnung der Einzelnen für die Ausführung betrachten.

1) Der Halbkreis und der Kreis werden bekanntlich so gezeichnet, daß man auf einem Bretterboden für den Mittelpunkt einen Nagel einschlägt, darum einen Faden so schlingt, daß dieser sich frei um den Nagel drehen kann. An einem andern Punkte des Fadens, der um die Länge des Halbmessers vom Mittelpunkt entfernt ist, hält man einen Bleistift senkrecht an und beschreibt durch Bewegung des Bleistiftes um den Nagel von einem Anfangspunkte des Halbkreises (oder Kreises) die geforderte Figur.

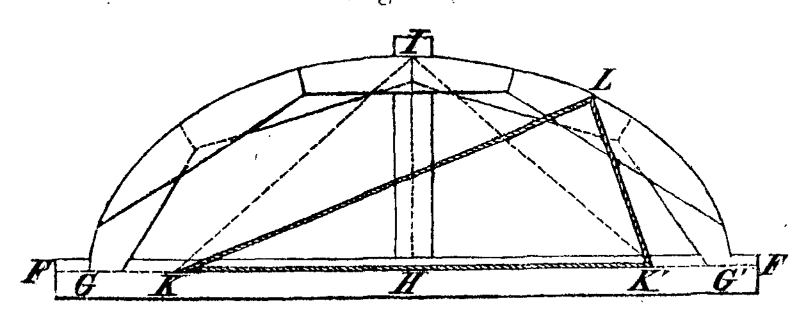
Fig. 13.



2) Der flache Bogen (Stichbogen) wird gezeichnet, wenn man nach Fig. 13 zwei Brettstücke rechtwinklig gegen einander befestigt. Alsdann trägt man die gegebene Länge des Bogens (die Sehne des Kreisstückes) von M nach N; hierauf rechtwinklig die gegebene Höhe des Bogens von R nach Q und verlängert diese willkürlich nach unten. Alsdann nimmt man eine Schnur mit einem daran befestigten Bleistift 2c. und sucht in der senkrechten Linie durch Probiren den Punkt (P) aus welchem man mit der bis M und N ausgespannten Schnur auch den oberen Punkt Q trifft. Hat man diesen Punkt P gefunden, so zieht man den Bogen MQN und die Aufgabe ist gelöst. Mathematisch findet man den Punkt P, indem man auf der Mitte der geraden Linie MQ ein Perpendikel nach unten errichtet, bis es die Mittellinie QRP schneidet.

3) Der elliptische Bogen wird gezeichnet, wenn man wie in Fig. 14 auf einem wagerechten Brette FF ein senkrechtes Bre

Fig. 14.



anlegt. Auf dem wagerechten Brette zieht man die Linie GG′ lang, als die gegebene Länge der Ellipse ist (die große Axe); a dem Mittelpunkte H dieser Linie errichtet man eine Senkrechte, wi kürlich lang, und steckt darauf das Maaß der halben Höhe der Ellip (der halben kleinen Axe) HI ab. Alsdann nimmt man die Länge d halben großen Axe GH und trägt sie von I nach K und K′. In d Punkten IKK′ schlägt man Nägel ein, und spannt eine Schnur f um diese drei Nägel. Dann zieht man den Nagel bei I aus, ste einen Bleistift ꝛc. senkrecht auf I und bewegt diesen Bleistift (imm senkrecht) nach G und G′ hin, so wird sich die elliptische Linie GI ergeben. Das Dreieck KLK stellt die Lage der Schnur vor, wen der Bleistift den Punkt L erreicht hat. Die stärkeren Linien KI LK′, KK′ zeigen die Ausspannung des Fadens für diesen Fall.

Die auf diese Art erhaltene Linie bildet eine vollkommen halbe Ellipse. Wollte man eine ganze beschreiben, so dürfte ma nur dieselbe Zeichnung unterhalb der Linie GG′ wiederholen, wi man sie oberhalb gemacht hat.

Die Gewölbefugen der elliptischen Bögen müssen stets in der Ver längerung der Halbirungslinie des Winkels KLK′ Fig. 14 liegen.

An der Linie GILG′ sieht man übereinandergreifende Brettstück gezeichnet. Die punktirten Linien zeigen die untere Lage an, die aus gezeichneten Linien die obere Brettlage, so daß, wenn man sich dies Brettstücke zusammengenagelt denkt, ein Bogen von Holz entsteht welchen man einen Lehrbogen nennt; weil er dadurch, daß er di Gewölbelinie vorschreibt, zugleich lehrt, wie gewölbt werden soll Wir werden die Anwendung dieser Lehrbogen weiter unten kenner lernen.

4) Die Zeichnung eines Korbbogens, der sich der Ellipse seh nähert und für die Praxis genau genug ist, zeigt Fig. 15. AB ist die lange Axe, M der Mittelpunkt derselben; in ihm errichtet man eine Senkrechte und trägt die Höhe des Bogens (die halbe Axe) von M nach D. Alsdann setzt man MD von A nach E, theilt EM und ME jedes in drei gleiche Theile und setzt einen dieser Theile (den vierten) von E nach F und von E nach F, so entstehen in FF die Brennpunkte der Ellipse. Ferner nimmt man die Entfernung FF in den Zirkel und beschreibt aus F und F Kreuzbogen in G, dann zieht man aus G durch F und F willkürlich lange Linien, hierauf beschreibt man aus F mit AF die Bogen AH und IB, alsdann mit dem Halbmesser GH aus G den Bogen HDI, so ist die Aufgabe gelöset.

5) Um einen Korbbogen (Fig. 16) zu zeichnen, stecke ma
der langen' Axe AB ein beliebiges Stück BG = AF ab, setze

Fig. 15.

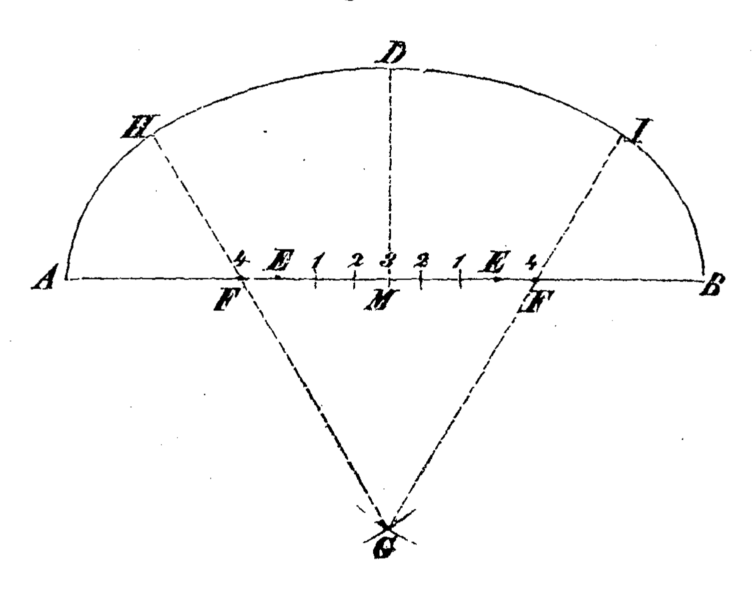
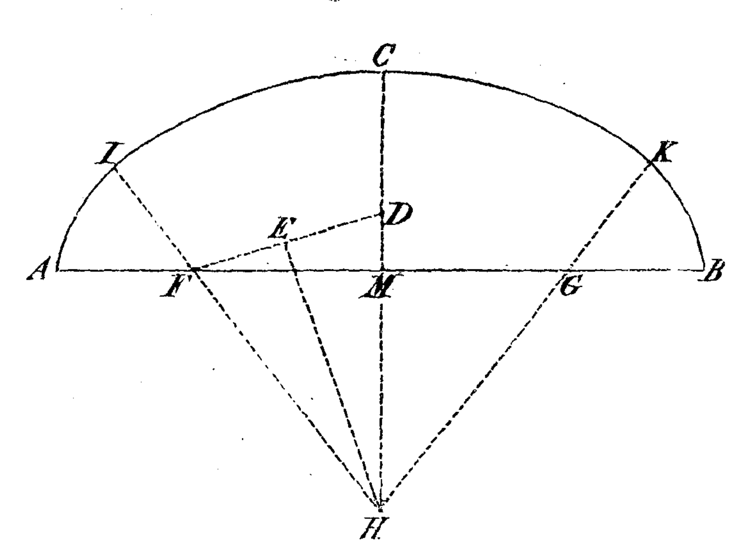


Fig. 16.



Länge von C nach D, ziehe DF, halbire diese Linie in E, ziehe
Senkrechte EH bis sie CM in H schneidet; alsdann ziehe man d
HF und HG die Linien HFI und HGK, beschreibe aus F
Bogen AI und aus G den Bogen BK, sowie aus H den Bogen I(

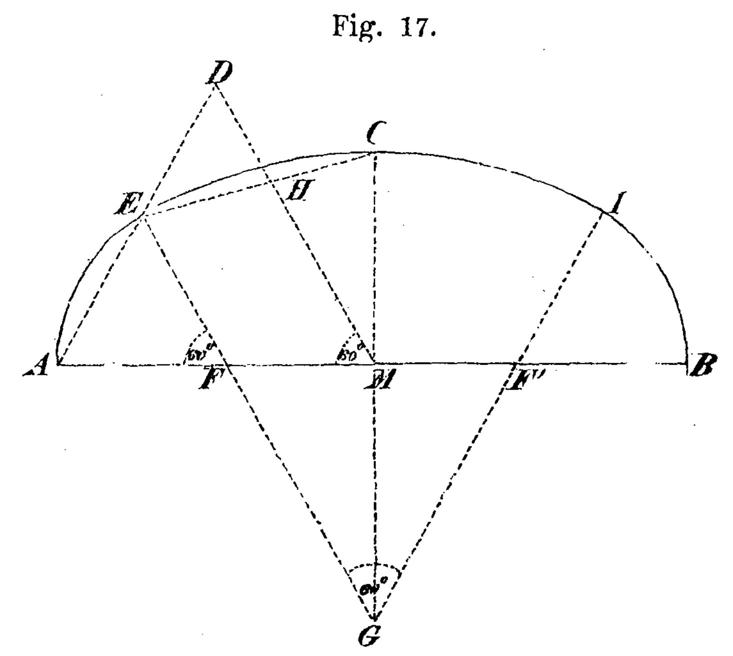
(NB. Es muß jedoch das Stück AF = GB jedesmal kleiner
wählt werden, als die Höhe CM war.)

Je größer man die Stücke AF = GB nimmt, je mehr sie sich c
der Linie CM nähern, um so steiler werden die Bogen AI und B
und um so flacher wird der obere Bogen ICK.

Es versteht sich von selbst, daß man diese Art Linien zu zeichnen sowohl für die praktische Ausführung auf einem Brettboden (sogenannten Reißboden) als auch auf dem Papier anwenden kann.

6) Einen Korbbogen aus drei Mittelpunkten so zu beschreiben, daß jeder der drei Kreisbogen einen Mittelpunktswinkel von 60° hat siehe Fig. 17.

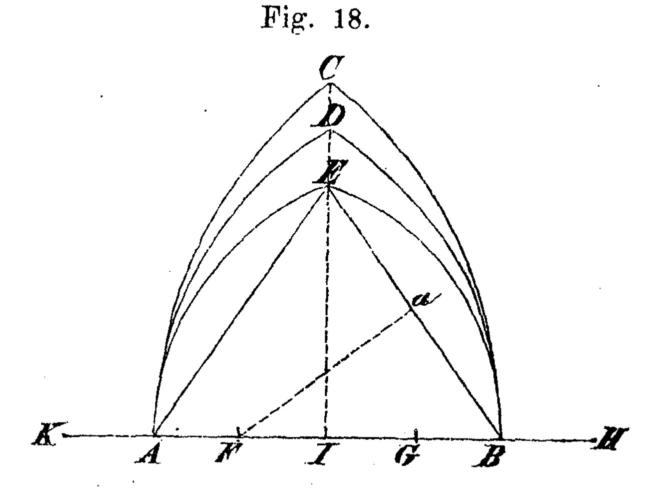
Fig. 17.



Ueber der halben Bogenweite AM beschreibt man das gleichseitige Dreieck AMD, macht MH = MC, zieht die Linie CHE. Von E zieht man die Linie EFG, parallel zu MD, so sind F und G die Mittelpunkte für die Kreisbogen AE und EI; macht man MF' = MI, so ist F' der Mittelpunkt für den Bogen IB.

7) Einen Spitzbogen zeichnet man auf folgende Art Fig. 18. Soll der Bogen ein sogenannter gleichseitiger werden, so nimmt man die Linie AB in den Zirkel und beschreibt aus A den Bogen BD und aus B den Bogen AD.

Fig. 18.



Soll der Bogen nur bis E reichen, so zieht man aus E die Linie EB, halbirt sie in a, errichtet in a eine Rechtwinklige und verlängert dieselbe, bis sie die Linie AB in F schneitet, so

ist E der Mittelpunkt für das Kreisstück EB; trägt man IF vo nach G, so ist ebenso G der Mittelpunkt für das Kreisstück] Eben so würde man die Mittelpunkte HK für einen Spitzbo finden, dessen Grundlinie AB und dessen Höhe CI wäre u. s. für jede beliebige Höhe und Breite desselben, sobald er aus rei Kreisstücken besteht. Fallen die Mittelpunkte zwischen die bei Kämpfer wie bei F und G, so nennt man den Bogen einen stump Spitzbogen, fallen sie außerhalb wie bei KL, einen lanzettförmige

8) Ein geschleifter Spitzbogen oder Tudorbogen ((zwei sich schneidenden Viertelellipsen oder Korbbögen gebildet) entst Fig. 19 und 20, wenn man die Mittelpunkte NN der halben Ellip willkürlich weit vom Mittelpunkte M der gedrückten Ellipse entfe sonst aber wie bei Fig. 15 verfährt.

Fig. 19.

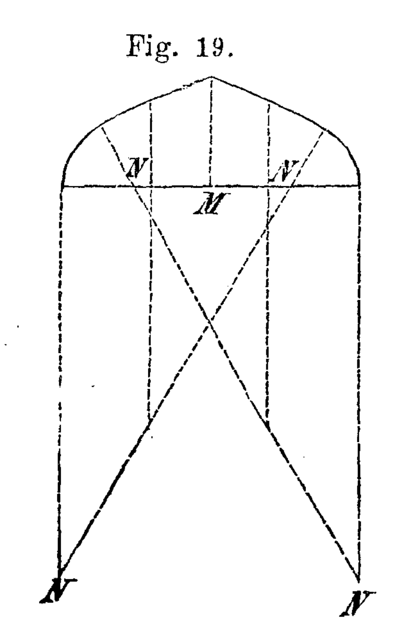


Fig. 20.

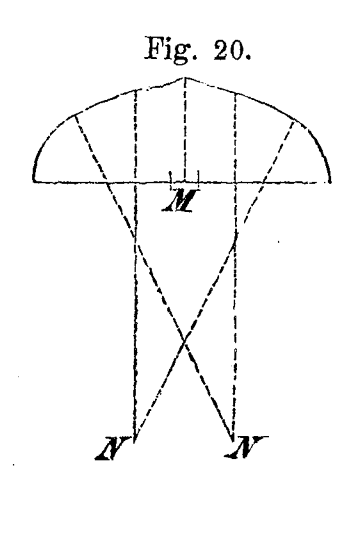


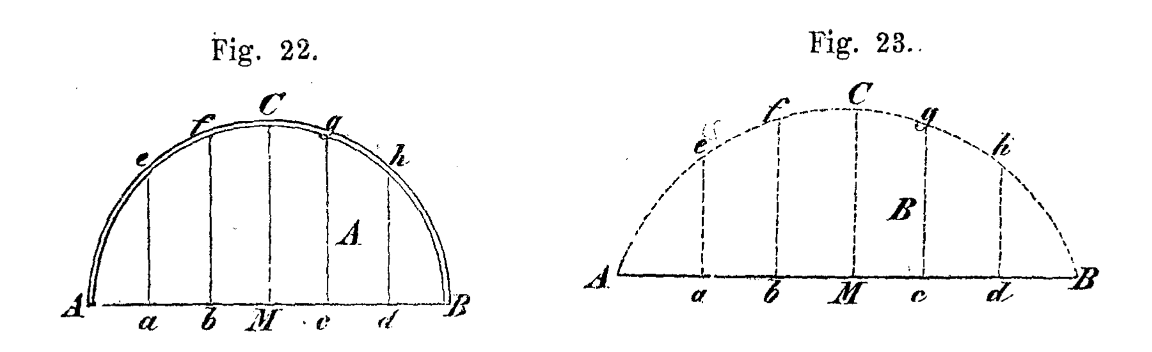
Fig. 21.

9) Den geschweiften Spitz bogen, Kielbogen oder Esels rückenbogen zeigt Fig. 21. De selbe sollte als unconstructiv nic mehr gefertigt werden, und gehört d Entartung der Gothik an.

10) Verwandlung einer Bo genlinie in eine flachere ode steilere.

Das nachstehende Verfahren i sehr wichtig und wird gewöhnlich angewendet, wenn mehrere Gewölb und Bögen gleiche Pfeilhöhe aber verschiedene Spannweite haber

Dieser Fall tritt, wie wir später sehen werden bei Kreuzgewölben zur Bestimmung der Gratbögen ein, sowie bei Bestimmung der Scheib- und Gurtbögen, wenn der Raum nicht quadratisch ist. Gewöhnlich wird ein Gurtbogen als Halbkreis gewölbt. Um nun die Bogenform für einen andern Gurtbogen zu bestimmen, der dieselbe Höhe, aber eine ungleiche Grundlinie hat (in nachstehender Figur eine längere), verfährt man in folgender Weise: man theile in dem gegebenen Halbkreise (Fig. 22) die Grundlinie AB in eine beliebige Menge gleicher Theile (hier in sechs), errichte dann aus den Theilpunkten abcd senkrechte Linien, welche bis an den Umkreis des Halbkreises reichen; dann theile man die Grundlinie des gedrückten Bogens Fig. 23 in eben so viele gleiche Theile, errichte auf den Durchschnittspunkten willkürlich lange senkrechte Linien, und trage dann von der Grundlinie AB (Fig. 22) nach und nach die Längen aebf



MC cg dh. Um die gefundenen Punkte ef gh auch AC und B legt man ein biegsames Leistchen und zieht mit dem Bleistift die Bogenlinie AefCghB.

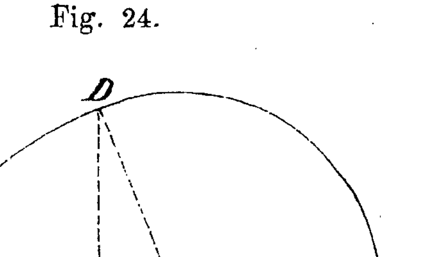
Es ist einleuchtend, daß in je mehr Theile man die Grundlinie AB theilt, um so leichter wird man (besonders im Großen) die Bogenlinie in Fig. 23 bestimmen können.

Ferner ist einleuchtend, daß man bei geicher Höhe CM der Fig. 23 auch eine Grundlinie hätte geben können, welche kleiner als die Grundlinie AB in Fig. 22 gewesen wäre.

Diese Bögen, welche aus dem Halbkreis auf die eben beschriebene Weise erhalten werden, sind elliptische Bögen und man kann sie ebenso gut nach dem Verfahren unter Nummer 3 bestimmen (aber nicht nach 4).

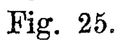
11) Einen steigenden Bogen Fig. 24 zeichnet man auf folgende Weise. Auf der wagerechten AB bestimme man zuförderst die Nei-

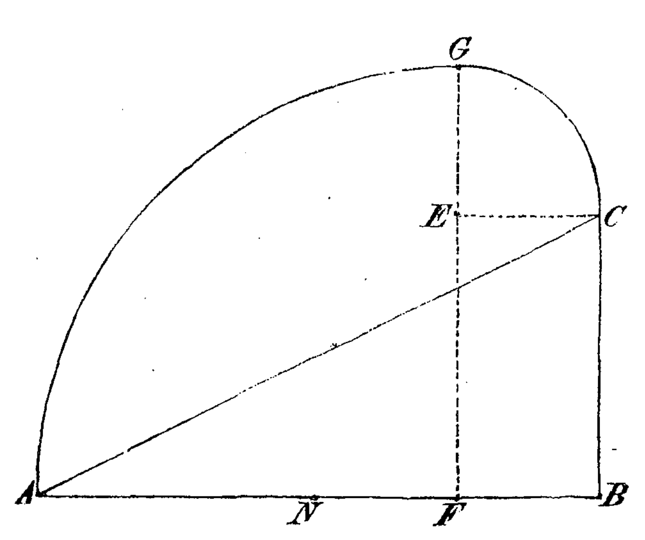
Fig. 24.



gung der steigende
AC, bis dahin r
Senkrechte BC
schneidet. Dann
man in der Mitte r
bei N die Senkrecht
und mache MD=
MC. Hierauf zieh
von D aus die Li
rechtwinklig auf A
verlängere DG,
AB in F schneidet
F der Mittelpun
Kreisstückes AD. Ferner ziehe man CE parallel mit AB, so
den Mittelpunkt des Kreisstückes DC und der steigende Boge
ist gezeichnet.

12) Eine zweite Art einen steigenden Bogen zu
giebt Fig. 25 für den Fall, daß die Steigung oder BC gl
Hälfte der Oeffnung=AN=NB ist.


Fig. 25.



Man theile BC
gleiche Theile, u
einen dieser Theile
nach F, so daß B
BC wird. Dann
man in F die w
lange Lothrechte
Ferner ziehe man
Punkte C die w
Linie CE, bis sie
E schneidet, so is
FB. Ferner setze n
Maaß EC von E
so ist G der Scheitelpunkt der steigenden Bogenlinie. Nun b
man mit dem Halbmesser AF aus F die Bogenlinie AG, u
E, mit dem Halbmesser EG, den Bogen GC, so ist die
Linie gefunden.

Diese Linie ist leicht zu zeichnen und auch häufig anz
da der Fall oft vorkommt, daß eine Treppensteigung halb so
als die Länge derselben. Dagegen dient die in Fig. 24 g

Linie für jede beliebige Steigung und ist also allgemein zu gebrauchen.

13) **Eine dritte Art den steigenden Bogen zu zeichnen,** liefert Fig. 26. Nach dieser Art verfahren die Maurer gewöhnlich, wenn steigende Bogen z. B. bei gewölbten Treppen angewendet werden.

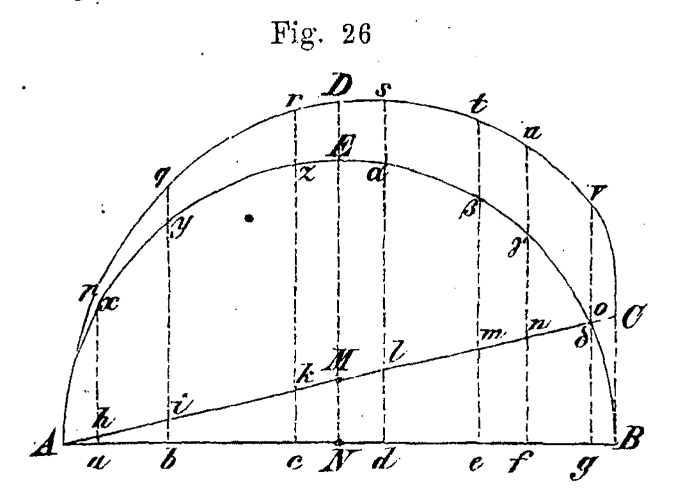


Fig. 26

Auf der gegebenen wagerechten Entfernung AB beschreibe man aus dem Mittelpunkte N den Halbkreis AEB, errichte dann in den beliebig gewählten Punkten abcdefg die Lothrechten ax by cz NE dα eβ fγ gδ bis an die Peripherie des Halbkreises, und darüber hinaus. Dann bestimme man die Neigung der schrägen Linie AC und ziehe sie von A aus so lang, bis sie in C durch die in B errichtete Senkrechte BC getroffen wird. Nun mache man die Senkrechte MD = NE, ferner setze man ax von h bis p, by von i bis q, cz von k bis r, dα von l bis s, eβ von m bis t, fγ von n bis u und gδ von o bis v, bezeichne überall die Höhenpunkte und ziehe alsdann aus freier Hand mit dem Bleistift ꝛc. die steigende Bogenlinie ApqrDstuvC.

Man sieht, daß diese Linie wie in 10 durch die Verwandlung des Halbkreises in einen steigenden Bogen erfolgt ist. Je mehr man Senkrechte auf AB annimmt, desto genauer wird die steigende Linie, und desto bequemer läßt sie sich aus freier Hand zeichnen. Auch ist es, wie man eben gesehen hat, nicht nothwendig, daß die Senkrechten auf die Linie AB unter sich in gleichen Abständen gewählt werden; im Gegentheil kann man die Entstehungspunkte abc dieser Senkrechten wählen wie man will, und wie es einem für die Zeichnung der krummen steigenden Linie am angemessensten scheint; namentlich thut man gut, an den beiden Enden kleine Abstände zu nehmen.

14) **Eine Kettenlinie zu beschreiben.** Zuerst bestimmt man an einer senkrechten Holzschalung die wagerechte Länge, welche die Breite des Bogens bezeichnet, den man der Kettenlinie geben will. In der Mitte dieser wagerechten Linie fällt man eine senkrechte, willkürlich lange Linie nach unten, und steckt auf dieser die verlangte Höhe des Kettenbogens ab. Alsdann hängt man eine eiserne Kette an den

Endpunkten der wagerechten Linie so auf, daß die Kette durc unteren Punkt der senkrechten Linie geht, welcher die Höhe des B bezeichnet. Dann zieht man aus freier Hand die Linie nach de der Kette und schneidet den Lehrbogen danach aus.

Da die Kette eine bestimmte Breite hat, so hängt man s besten so, daß sie sich dem Kettenbogen im Lichten gemessen einsc weil sonst die Linie größer oder kleiner als die vorgeschriebenen messungen werden würde.

Die Kettenlinie läßt sich auch ohne Kette bestimmen, indeß Construction derselben mit etwas langwierigen Rechnungen verbu weshalb hier nur das praktisch Naheliegende angegeben worden

§ 3.

Die Widerlager der Gewölbe.

Jeder gewölbte Bogen, welcher aus einzelnen Steinen b übt, wie wir bereits in § 1 erwähnten, einen senkrechten D welcher je nach dem Gewicht und der Belastung des Bogens g oder kleiner ist, und außerdem einen Seitenschub, welcher allein von dem Gewicht und der Belastung des Bogens, sondern von der größeren oder geringeren Pfeilhöhe abhängt (bei der Spannweite).

Unter Widerlager eines Gewölbes oder Bogens versteht dasjenige Mauerwerk, auf dem der Bogen ruht, und welches so sein muß, daß der Seitenschub des Bogens nicht im Stande is umzuschieben. Wir haben bereits (§ 1) gesehen, daß, wenn Steine mit Mörtel verbunden werden, der Seitenschub des Gew nach und nach mit der Erhärtung des Mörtels aufhört, bei s Gewölben aber, wo die einzelnen Steine nicht durch Mörtel verbu sind, hört dieser Seitenschub nie auf sondern wirkt fortwährend

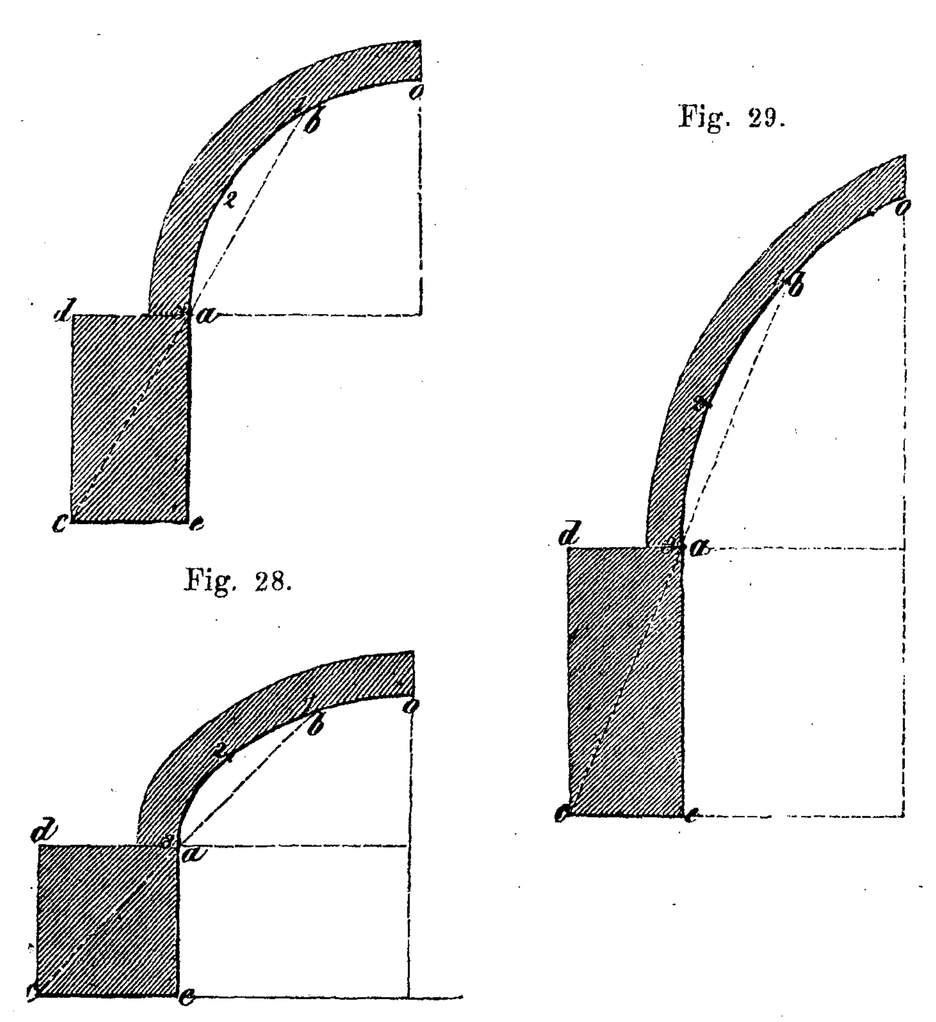
Man hat sich vielfältig beschäftigt, die erforderliche Stärk Gewölbewiderlager durch Rechnung theoretisch zu bestimmen, da die Theorie hiervon nicht nur äußerst schwierig ist, auch eine M von Umständen, wie z. B. Verschiedenheit des angewendeten Mate ferner die größere oder geringere Sorgfalt bei der Arbeit wesent Einfluß haben, so ist man nur für die einfachsten Fälle im S gewesen, mit der Erfahrung übereinstimmende Regeln aufzust deren wir hier die besten und bequemsten ausführen wollen.

Bestimmung der Widerlager nach Déran.

Die Figuren 27—29 zeigen drei verschiedene Fälle. In Fig. 27 ist die Hälfte eines halbkreisförmigen Gewölbes oder Bogens vorgestellt. Man theile den **Viertelkreis** in drei gleiche Theile, die mit 0, 1, 2, 3 bezeichnet sind, ziehe durch 1 und 3 die Sehne **ab** und verlängere diese Linie willkürlich nach unten; alsdann mache man **ac**=**ab** und beschreibe das Rechteck **aecd**, so ist dies das gesuchte Widerlager. Seine Stärke beträgt etwa den vierten Theil der Bogenöffnung.

In Figur 28 ist die Hälfte eines elliptischen Bogens gezeichnet. Man theile die Bogenlinie wieder in drei gleiche Theile, ziehe **ba**, verlängere sie nach unten, mache **ac** = **ab**, vollende das Rechteck **adce**, so ist dieses die gesuchte Widerlagsstärke. Diese beträgt hier zwischen $^1/_4$ bis $^1/_3$ der Bogenöffnung.

Fig. 27.



Es ergiebt sich demnach: daß, je **niedriger** der Bogen ist, um so **stärker** muß das Widerlager sein, um dem Seitenschube zu widerstehen. Hiervon kann man sich sehr leicht noch mehr überzeugen,

wenn man ein flaches Kreisstück von derselben Bogenöffnung Fig. 27 und 28 zeichnet, welches eine noch geringere Bogenh hätte als der elliptische Bogen in Fig. 28. Suchte man dafür g in derselben Art, wie eben gezeigt wurde, die Widerlagsstärke wird man finden, daß bei dem flachen Kreisstücke das Widerla noch stärker sein muß, als es bei der Ellipse war.

Sucht man bei gleicher Weise für den Spitzbogen Fig. 29 Widerlagsstärke wie vorhin, so findet man, daß der Spitzbogen, w er gleiche Bogenöffnung wie der Halbkreis Fig. 27 und die Ell Fig. 28 hat, der geringsten Widerlagsstärke bedarf, denn sie bet hier noch kein volles Viertheil der ganzen Bogenöffnung.

Hieraus folgt die sehr wichtige Regel, daß: je flacher der wölbebogen bei gleicher Bogenöffnung ist, um so stärker müs die Widerlager sein; welcher Satz durch die Erfahrung vollk men bestätigt wird.

Es ist noch zu bemerken: daß die Déran'sche Methode Widerlager etwas stärker angiebt, als sie bei gutem Mörtel und g Arbeit erforderlich sind, sie ist also für alle Fälle vollkommen a reichend.

Es folgt ferner aus dem Vorigen: daß ein sogenanntes schn rechtes Gewölbe (nach wagerechter Linie und aus einzelnen St stücken mit Fugenschnitt zusammengesetzt) das stärkste Widerl brauchen wird und umgekehrt: daß, je höher der Bogen ist, Verhältniß zu seiner Breite, um so schwächer kann Widerlager werden.

Zufällige Verstärkungen auf Widerlager (Brüc gewölbe, überhaupt Gewölbe auf Pfeilern).

Oft kommt der Verstärkung der Widerlager schon die eigentl liche Anordnung des Bauwerkes zu Hülfe. Wir haben bis jetzt Bogen und Wölbungen als für sich freistehend betrachtet; gewöh aber kommen sie in Verbindung mit andern Mauern, mit darau erhebenden Stockwerken ꝛc. vor, wodurch die Widerlager an sic viel verstärkt werden, daß sie viel schwächer ausfallen können, man sie sonst der Regel nach machen müßte. Wir wollen hier vorzüglichsten Fälle dieser Art anführen, woraus man leicht Schluß auf andere machen kann.

Erstens denke man sich einen Gurtbogen zwischen zwei Fu mauern gespannt, so wird ein Theil des Seitenschubes des Bo durch den gegen die Futtermauern fortwährend wirkenden Erd

aufgehoben. Die Futtermauern (als Widerlager des Gewölbes) können daher in diesem Falle schwächer angelegt werden, als wenn kein Gurtbogen vorhanden wäre, weil sie alsdann den ganzen Erddruck hätten allein aushalten müssen, welchen nunmehr der Seitenschub des Bogens überwinden hilft.

Hierbei wird man jedoch die beiden Futtermauern so lange durch eingesetzte Sperrbalken absteifen müssen, bis der Bogen fertig eingesetzt ist, weil sonst die Futtermauern von dem Eindrucke ausgebaucht oder herübergedrückt werden könnten.

Zweitens denke man sich einen Pfeiler, der als Widerlager für zwei Gurtbogen dient, die nach derselben Richtung laufen; alsdann hebt der Schub des einen Gurtbogens den des andern auf, wenn beide Bogen gleiche Spannung haben, und der Pfeiler hat nur den senkrechten Druck der Bögen auszuhalten. In diesem Falle giebt man dem Pfeiler, so weit dies thunlich ist, die doppelte Stärke des Gewölbebogens und dann kann man mit dem Wölben beider Gurte auf dem Kopfe des Pfeilers beginnen; jedoch genügt für die Stärke des Pfeilers in gewöhnlichen Fällen schon $^1/_8$—$^1/_{12}$ der Spannweite, dann aber ist es vortheilhaft und oft sogar nothwendig, die ersten Schichten wie in Fig 30 zu überkragen und nach der Bogenlinie zu hauen, bis man eine solche Stärke erlangt hat, daß beide Bögen in ihrer vollen Stärke beginnen können.

Fig. 30.

Aehnlich verfährt man sowohl beim Wölben wie bei der Bestimmnng der Pfeilerstärken bei Kreuzgewölben, wo vier Gurtbogen von einem Pfeiler ausgehen.

Ist eine lange Reihe von ungleichweit gespannten Bögen auszuführen, so müssen die **Erdwiderlager** stark genug für den Bogen mit der **weitesten** Spannung gewählt werden, wobei es gleichgültig ist, an welcher Stelle der Bogenreihe sich der letztere befindet.

Aus dem Gesagten läßt sich auch erklären, wie bei vielen Kirchen und andern Gewölben ein ganz dünner Granitpfeiler im Stande ist, die sämmtlichen Gewölbe eines sehr großen Raumes zu tragen. Es geschieht dieses allein dadurch, daß er durch den gleichmäßigen Seitenschub aller Bögen selbst im Gleichgewichte gehalten wird, und folglich nur so viel Stärke zu haben braucht, daß er unter der Last, welche er trägt (unter dem senkrechten Drucke der Gewölbe) nicht zerdrückt werde.

Bei Brücken, welche mehrere Pfeiler haben, ist es ebenfalls nur nöthig, die End- oder Stirnpfeiler an den Ufern so stark zu machen

daß sie dem Seitenschub der an sie gelehnten Bogen widerstehen. Die Zwischenpfeiler hingegen können weit schwächer angelegt werden, da sie bei gleich großen Wölbebogen nur den Druck derselben auszuhalten haben, indem der Seitenschub der Gewölbebogen sich gegenseitig aufhebt, wenn dieselben vollständig eingewölbt sind.

Da jeder der einzelnen Zwischenpfeiler zu schwach ist, dem Seitenschub des Gewölbes zu widerstehen, so muß man entweder alle Gewölbebogen der Brücke gleichzeitig einwölben und die Zwischenpfeiler bis zur Beendigung sämmtlicher Bogen gegen einander absteifen; oder wenn man alle Bogen, wie es oft der Fall ist, nicht gleichzeitig anfangen kann, so beginnt man mindestens zwei bis drei Bogen zugleich, wölbt den ersten oder die beiden ersten zu und benutzt das Lehrgerüst des ersten Bogens für den vierten Bogen; die einstweilen leer bleibenden Zwischenweiten steift man so lange gegen einander und gegen die Stirnpfeiler ab, bis nach und nach alle Bogen eingewölbt sind.

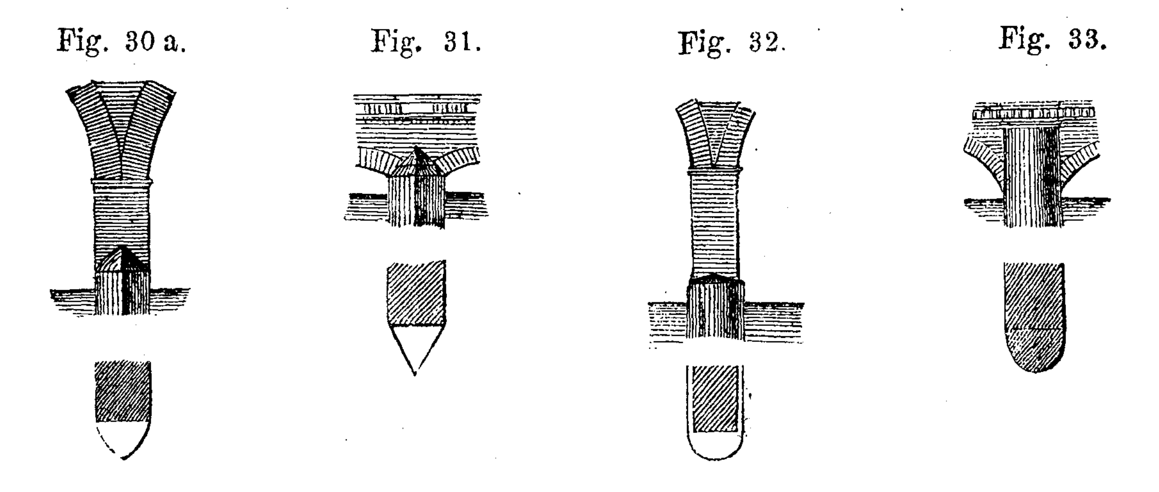
Bei sehr langen Brücken würde durch den Einsturz oder die Vernichtung eines Bogens das ganze Bauwerk gefährdet, wenn man lauter schwache Zwischenpfeiler anwendet. Ueberdies ist man oft genöthigt, die Strompfeiler, wegen der schwierigeren Gründung und um den Fluß nicht zu beengen, weiter auseinander zu stellen, wodurch man Gewölbe von verschiedener Weite erhält. In diesem Falle theilt man das Ganze in Abtheilungen oder Gruppen und giebt dem Endpfeiler einer Gruppe die volle Widerlagsstärke für den größeren Bogen. (Eine solche Anordnung findet man außer andern, namentlich bei den großen Eisenbahn-Viaducten zu Bunzlau und Görlitz.) Die Zwischenpfeiler, auf denen gleiche Bogen ruhen, deren Seitenschub sich gegenseitig aufhebt, bekommen nur die gewöhnliche Stärke. Je nach der Höhe der Pfeiler müssen dieselben, wie früher angegeben, verstärkt werden, doch macht man selbst bei ungleichem Terrain die Pfeiler einer Gruppe gleich stark und richtet sich dabei nach der Stärke des höchsten Pfeilers derselben Gruppe.

Durch diese Anordnung ist man im Stande, die Pfeiler einer Gruppe vollständig zu überwölben und die Hintermauerung auszuführen, so daß dann die Lehrgerüste anderweitig verwendet werden können.

Sind die Bogen ungleich und man will keine Pfeiler anwenden, welche die volle Widerlagsstärke haben, so pflanzt der größere Bogen noch einen Theil seines Seitenschubes auf den nebenstehenden kleineren

fort und in diesem Falle ist es am besten, den letzten Widerlagspfeiler (den Stirnpfeiler) so stark zu machen, daß er dem Seitenschube des größeren Bogens zu widerstehen im Stande ist.

Nebenbei wollen wir noch bemerken, daß die Strompfeiler einer Brücke vorn und hinten oder am Ober- und Unterwasser Vorlagen erhalten müssen, die man Häupter nennt. Diese Häupter müssen bis über den höchsten Wasserstand reichen und erhalten im Grundriß entweder die Form eines Halbkreises Fig. 30 a, oder eines Dreiecks Fig. 31, oder eines Spitzbogens Fig. 32, oder die Form eines überhöhten Bogens Fig. 33. Sie dienen dazu, das Wasser gegen


Fig. 30 a. Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33.

den Strom von den Pfeilern ab nach der Mitte der Oeffnung zu leiten und hinten, um das Unterwasser allmählig zusammenzuführen, und verhüten, daß sich Wirbel bilden, welche einen größeren Angriff auf das Grundbett ausüben und somit den Pfeiler unterspülen würden.

Drittens. Wenn ein Gewölbe in einem untern Stockwerke ausgeführt wird, so wirken die auf den Widerlagsmauern stehenden Mauern zur Verstärkung des Widerlagers mit und man kann die unteren Widerlagsmauern daher ohne Gefahr $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{3}$ schwächer anlegen, denn dem Seitenschub des Gewölbes wirkt jetzt noch die Last der oberen Mauer entgegen. Gewöhnlich nimmt man auf diesen vermehrten Druck nur dann Rücksicht, wenn bei schwachen Mittelwänden die Corridore der oberen Stockwerke gewölbt werden sollen. Bei Kellern läßt man den Druck der oberen Mauern meistens außer Acht, da die Mauern schon an und für sich stark werden und da die zur Anwendung kommenden Gewölbe (das Kappengewölbe, Kreuzgewölbe, der Korb- und Stichbogen 2c.) theils an und für sich, theils wegen der geringen Höhe der Kellergeschosse auch nur über geringe Weiten

gestreckt werden, so daß es leicht möglich wird, alle Widerlager von Gewölben und Gurtbogen $1/4 — 1/3$ der Spannweite stark zu machen.

Außer einem hinreichend starken Widerlager ist jedoch bei allen Gewölben die sogenannte Hintermauerung nothwendig, namentlich bei allen Gewölben, welche nach den Widerlagern zu nicht stärker sind, als am Scheitel. Diese Hintermauerung ersetzt die Verstärkung der Gewölbe an den Widerlagern, vermehrt den Druck auf dieselben und wirkt dem Seitenschub der Gewölbe entgegen. In Fig. 34 ist ein rundes, von senkrechten Mauern eingeschlossenes Gewölbe gezeichnet, die Dreiecke abc und def geben die erwähnte Hintermauerung an. Durch dieselbe wird, wie schon erwähnt, der sogenannte Fuß des Gewölbes fester. In Fig. 35 ist die Hintermauerung von a aus nach der Tangente abgeglichen. Man läßt die Hintermauerung jedoch nicht

Fig. 34.

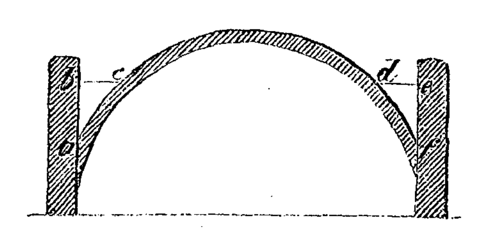
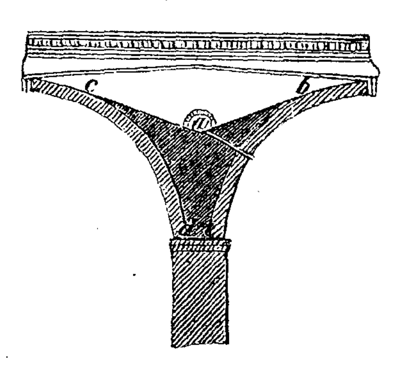


Fig. 35.



so weit hinaufreichen, daß sie den oberen flachen Theil des Gewölbes belastet, wodurch gleichzeitig der Seitenschub vermehrt würde. Bei großen Kirchen mit Kuppeln setzte man auf das Widerlager der inneren flachen Kuppel eine zweite größere und höhere, die, weil sie nach einer steileren Linie gebildet wurde, ein schwächeres Widerlager bedurfte und durch ihre Last zugleich den bedeutenden Seitenschub der früheren Kuppel aufheben half. Beispiele hiervon findet man in vielen größeren Kirchen, welche Kuppeln haben. (Pantheon zu Paris.)

Vortheilhaft ist es noch, wenn die Widerlager erst austrocknen können, bevor man die Gewölbe aufführt, weil sie dann dem Seitenschube derselben besser und kräftiger widerstehen.

§ 4.

Von den Gewölbestärken.

Wir werden zwar im Verfolg die Stärken der Gewölbe für die gewöhnlichen Anordnungen bei den einzelnen Gewölbearten kennen

lernen, jedoch müssen wir einige allgemeine Bemerkungen voraus- schicken.

1) Je schwerer das Gewicht eines Gewölbes ist, um so mehr wirkt es auf den Seitenschub hin, und umgekehrt, je leichter es ist, um so geringer wird der Seitenschub sein; deshalb wird man, unbeschadet der Haltbarkeit, die Gewölbestärke so gering als möglich machen.

Die größere oder geringere Stärke ist jedoch auch sehr von dem Material abhängig, aus welchem die Gewölbe gefertigt werden. Je fester das Material ist, um so schwächer können verhältnißmäßig die Gewölbe werden, außerdem kommt noch die Form des Materials in Betracht, ob dasselbe in regelmäßigen oder unregelmäßigen Stücken verwendet werden soll.

Fester Haustein ist zu großen Gewölben, namentlich zu Brückengewölben das vorzüglichste Material.

Bruchsteinstücke sind nur zu kleineren Keller- und Stallgewölben anwendbar.

Gut gebrannte Mauersteine haben eine große Festigkeit, und man hat, unbeschadet der Zusammendrückbarkeit der vielen Mörtelfugen, Brückenbogen bis zu 40^{m} lichter Weite daraus erbaut.

Gewölbe von Lehmsteinen können nur an ganz trockenen Orten errichtet werden, auch kann man sie, wegen der leichten Zerdrückbarkeit des Materials, nur über mäßig große Räume spannen.

Gußgewölbe und Gewölbe aus Stampfmörtel verhalten sich hinsichtlich ihrer Stärke wie solche aus undichtem Gestein; sie müssen stärker angefertigt werden, als wenn man ein sehr festes Material dazu verwendete. Haben die Wölbungen außer ihrer eignen Last keine andere zu tragen, so wählt man auch das möglichst leichteste Material, wenn es nur sonst seinem Zwecke entspricht. Haben die Gewölbe aber außer der eigenen Last noch eine andere zu tragen, so muß man die festesten Steine wählen. Gut gebrannte Ziegelsteine entsprechen allen Anforderungen in dieser Hinsicht.

Werden die Gewölbesteine mit Mörtel verbunden, so sind vorzugsweise solche Steine zu wählen, welche eine innige Vereinigung mit dem Mörtel einzugehen geschickt sind, es würden demnach sehr scharf gebrannte Mauersteine zu diesem Zwecke weniger taugen, als mittelscharf gebrannte, weil erstere den Mörtel nicht einsaugen. Aus demselben Grunde würden Bruchsteine, abgesehen von ihrer unregel-

mäßigen Form weniger tauglich sein, als gebrannte Mauersteine. Zu den Widerlagern muß man die festesten und schwersten Steine wählen, damit diese weder zerquetscht, noch leicht verschoben werden können, wozu ihr größeres Gewicht natürlicherweise wesentlich beiträgt.

2) Bei jedem steilerem Gewölbe kann man die ersten Schichten aus freier Hand wölben; so weit dies möglich ist, halten sich die Steine durch Reibung und den Zusammenhang des Mörtels. Betrachtet man dabei die Tangenten, welche man in den Fugenschnitten am Gewölbebogen zieht, so nähern sich diese mehr und mehr der lothrechten Linie. In dem flacheren Theile des Gewölbes bleiben die Steine nicht mehr durch Reibung liegen, sondern sie werden durch Pressung gehalten und üben einen Seitenschub aus, der sich bis auf die untersten Schichten des Gewölbes der Widerlager fortpflanzt und dieses umzuschieben strebt. In diesem Theile des Gewölbes nähern sich die Tangenten mehr der wagerechten Linie und erreichen diese im Scheitel des Bogens.

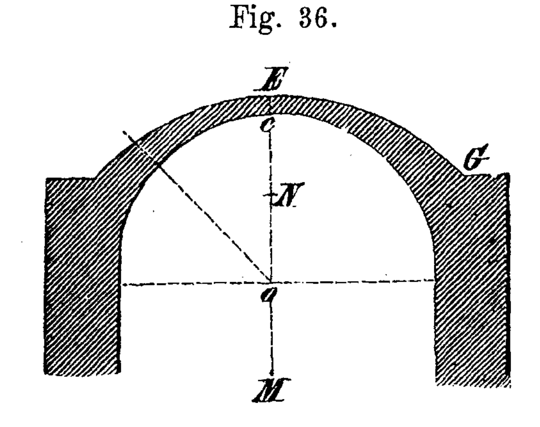
Wiewohl die untersten Wölbsteine an und für sich keinen Seitenschub ausüben, so lange sie durch Reibung gehalten werden und ihr Schwerpunkt unterstützt ist; so erleiden sie dennoch einen Seitenschub, welcher von dem oberen flacheren Theile des Gewölbes herrührt und sich nach dem Widerlager fortpflanzt. Demnach ist es falsch, wenn man annimmt, daß die Widerlager keinen Seitenschub auszuhalten haben, sobald die Tangente bei der untersten Gewölbefuge lothrecht ist, denn dann würden alle Gewölbebogen, welche sich tangential an das Widerlager anschließen, wie der Halbkreis- und Korbbogen, die Ellipse ꝛc., keinen Seitenschub darauf ausüben dürfen, wenn auch ihre Spannweite beliebig groß wäre.

Hingegen folgt, daß der Seitenschub um so geringer ist, je kleiner der Theil des Gewölbes ist, bei dem die Tangenten sich mehr der Wagerechten nähern, oder je steiler der Gewölbebogen an sich ist. Umgekehrt wird bei einem flacheren Gewölbe der Seitenschub um so größer, je mehr es sich dem sogenannten scheitrechten Bogen nähert.

3) Ein Gewölbe kann entweder in seinem ganzen Umfange gleich dick sein, wie es bei Gurtbogen von gebrannten Mauersteinen, oder bei kleineren Gewölben dieses Materials gewöhnlich der Fall ist, oder die Gewölbe werden nach dem Scheitel zu schwächer, welcher Fall bei Gewölben von Hausteinen, bei großen Ziegelgewölben oder auch bei Gußgewölben eintritt. Sind sie durchweg gleich stark, so braucht ein freistehender Bogen, wenn er sich ohne Bindemittel halten soll,

wenigstens den sechzehnten Theil seines lichten Durchmessers zur Stärke. Da aber die Gewölbebogen immer noch eine Verstärkung der Wölbsteine nach den Widerlagern theilweise ersetzen, so kann man dem Bogen eine noch geringere Stärke geben.

Fig. 36.



Das gewöhnliche Verfahren, die Dicke des Gewölbes an den Widerlagen zu bestimmen, (wenn das Gewölbe im Scheitel dünner wird), besteht in Folgendem. Es sei Fig. 36 ein halbkreisförmiges Gewölbe. Man theile den Halbmesser OC in zwei gleiche Theile und mache $OM = \frac{1}{2} OC$; hierauf setze man die Stärke des Gewölbes im Scheitel, welche man aus der Rondelet'schen Tabelle entnehmen kann, von C nach E und beschreibe mit ME den Bogen EG.

Ganz ebenso verfährt man bei Stichbogen und ähnlich für andere Bogen. Da bei einem Gewölbe jeder nächst untere Wölbstein die Last der darüber folgenden Steine zu tragen hat, so wird durch diese Verstärkung des Gewölbes eine größere Sicherheit erzielt; die sogenannte Mittellinie des Druckes, in der man alle in einem Gewölbe und auf dasselbe wirkenden Kräfte vereint denken kann, liegt hier zwischen der äußeren und inneren Gewölbelinie, so daß von dieser gedachten Linie aus die Wölbsteine noch hinreichende Stärke haben. Bei Gewölben, die nach dem Widerlager hin nicht stärker werden, tritt diese Linie unter Umständen aus dem Gewölbe heraus, entweder nach außen oder in die lichte Oeffnung, und im ersteren Fall muß die Hintermauerung die Verstärkung des Gewölbes ersetzen, im letzteren Falle steht der Einsturz des Gewölbes bevor.

Deshalb werden große Gewölbe, selbst wenn sie aus Ziegeln gefertigt werden, nach den Widerlagern hin verstärkt und diese Verstärkung läßt man nach dem Scheitel in einzelnen Absätzen abnehmen, so daß man nicht nöthig hat, viel Steine zu verhauen.

Der deutsche Brückenbaumeister Bach nahm für die Höhe des Brückenschlußsteines $\frac{1}{24}$ der Bogenweite und giebt in jedem Falle noch $\frac{1}{3}$ m hinzu, jedoch macht er die gedrückten Bogen stärker, indem er als Bogenweite den größten Durchmesser der Krümmung im Schlusse annimmt, und danach die Stärke im Scheitel bestimmt.

Für Brückenbogen aus Mauersteinen pflegt man die Gewölbestärke im Scheitel $= 1/12$ bis $1/14$ der Spannweite zu machen und diese Stärke nach den Widerlagspunkten etwas wachsen zu lassen.

Außerdem hat man folgende Erfahrungssätze: Wenn zwei bis drei Stockwerk hohe Mauern auf einem Gurtbogen stehen, so muß das Gewölbe in Mauerstein bis 2^m Spannweite $= 1$ Stein, bei $2-5^m = 1\frac{1}{2}$ Stein, bei $5-6^m = 2$ Stein stark gemacht werden.

Für leichte Gewölbe, die durch nichts belastet werden; nimmt man die Gewölbestärke bei Gußgewölben $1/20$, für Mauerstein $1/30$ und für Haustein $1/50$ der lichten Weite.

Weitere Bemerkungen über die Gewölbestärken werden bei den einzelnen Gewölbearten späterhin folgen.

4) Wir haben in 2) dieses § gesehen, daß der steilere Theil eines Halbkreisgewölbes, bei welchem die Tangenten sich mehr der lothrechten Linie nähern, an und für sich keinen Seitenschub ausübt, so lange der Schwerpunkt unterstützt ist und die einzelnen Steine durch Reibung liegen bleiben. Hingegen erleidet der steilere Theil einen Seitenschub durch den flachen Theil des Bogens, in welchem die einzelnen Steine durch Pressung gehalten werden, und pflanzt diesen Seitenschub auf das Widerlager fort.

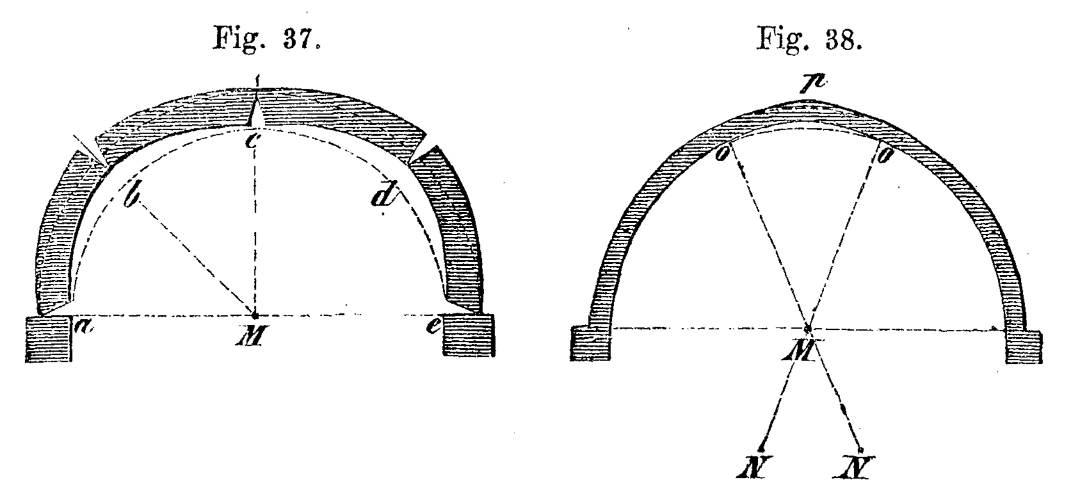


Fig. 37. Fig. 38.

Betrachten wir in Fig. 37 den Halbkreisbogen abcde, so sehen wir, daß die Theile ab und ed, wiewohl sie an und für sich feststehen können, durch die flacheren Theile bc und dc einen Seitenschub erleiden, der den Einsturz zur Folge haben kann, wenn die Hintermauerung nicht hoch genug hinaufgeführt ist.

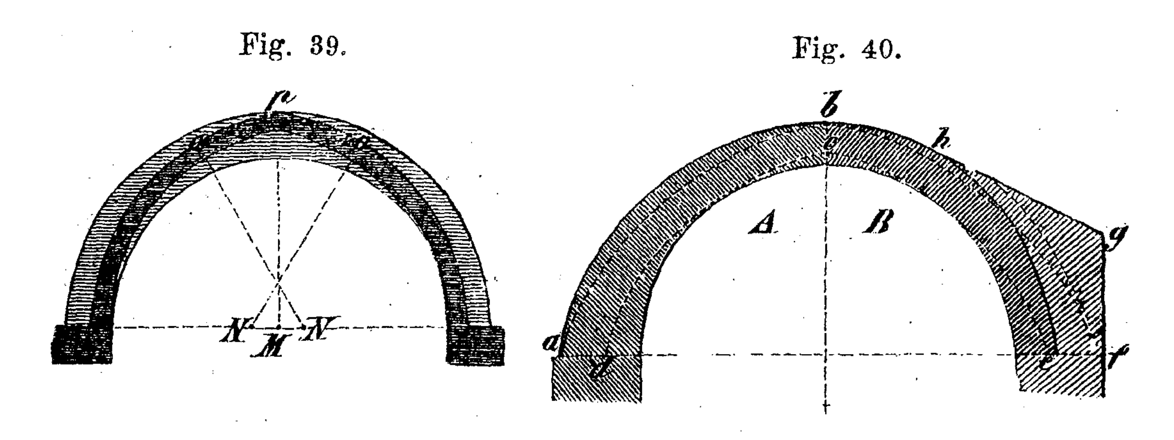
Bei dem Einsturze von Halbkreisgewölben hat sich allemal dieselbe Erscheinung gezeigt. Es öffnet sich nämlich ein solches Gewölbe an den Punkten ace nach innen, und bei den Punkten b und d nach

außen, die beiden Fugen nennt man die Brechungsfugen. Dieselben liegen ungefähr 50° vom Scheitel des Halbkreises entfernt und bis dahin muß die Hintermauerung mindestens gehen. Jedoch braucht dieselbe nicht wagerecht abgeglichen zu werden, sondern man kann etwas tiefer bleiben und von da aus nach der Tangente abgleichen, die den Halbkreis etwa 30° vom Scheitel berührt.

Je mehr man durch Wahl der Bogenlinie im Stande ist, die Brechungsfuge nach dem Scheitel hinzuschieben, oder, was dasselbe ist, je steiler oder spitzer der Bogen wird, um so geringer wird sein Seitenschub.

In Fig. 38 sehen wir eine schwache Ueberhöhung des Halbkreises, welche nur von $_{00}$ bis p reicht, und wozu die Mittelpunkte in N und N liegen. Eine solche geringe Ueberhöhung nennt der Maurer das Stechen des Gewölbes. In Fig. 39 ist diese Stechung schon bedeutender, und durch sie hat sich der Halbkreis bereis in einen wirklichen Spitzbogen verwandelt, dessen beide Mittelpunkte N N um etwas aus dem Mittelpunkte des Kreises gerückt sind und der in p seinen

Fig. 39. Fig. 40.



Scheitel hat. Durch diese Stechung des Halbkreisbogens ist man wegen der größeren Haltbarkeit des Bogens zugleich im Stande, das Gewölbe selbst schwächer zu machen, als wenn es nach einem Halbkreise construirt gewesen wäre. Zugleich schmiegt sich der Spitzbogen, wenn er nicht zu stumpf ist, der Kettenlinie am meisten an und da diese hinsichtlich der Festigkeit und wegen des geringen Seitenschubes auf die Widerlager eine sehr vortheilhafte Form hat, so ist der Spitzbogen, da er ähnliche Vortheile bietet, zu großen Gewölben, wo man hinreichende Höhe hat, besonders geeignet. Bei großen Kirchen Kirchen mit Kuppeln, wie z. B. bei dem Pantheon zu Paris (Kirche der heil. Genovefa) ist die Zwischenkuppel, welche die innere umgiebt,

nach einer Kettenlinie gebildet, wodurch der Seitenschub möglichst gering und zugleich dem Seitenschub der inneren Kuppel entgegengewirkt wurde.

Man giebt deshalb auch jedem Halbkreisgewölbe eine solche Stärke, daß die Construction einer Kettenlinie oder eines Kettenbogens Fig. 40 von hinreichender Stärke möglich wird, ohne daß die Kettenlinie irgend wo in die lichte Oeffnung des Gewölbes tritt. Bei gleich starken Bogen tritt die äußere Linie des Kettenbogens bisweilen in die Hintermauerung, welche deshalb hinreichend hoch sein muß, weil sonst die Stabilität des Gewölbes gefährdet ist.

Wir haben gesehen, daß ein Gewölbe um so mehr schiebt, je flacher es ist und daß der flache Theil eines Gewölbes weniger Standfähigkeit hat, als der steilere. Der obere Theil eines Halbkreisgewölbes wird um so flacher, je mehr er sich dem Scheitelpunkte nähert.

Hieraus entsteht für die Ausführung, bei großer lichter Weite des Halbkreises, der Nachtheil, daß z. B. in einem Halbkugelgewölbe der obere Theil so flach zu liegen kommt, daß er beinahe eine wagerechte Linie macht, wodurch dieser oberste Theil eines solchen Gewölbes so wenig Standfähigkeit erhält, daß er einstürzen kann. Deshalb hat man bei vielen großen Kuppeln von Kirchen die Kuppelgewölbe, welche einen Halbkreis bilden, oberhalb nicht geschlossen, sondern offen gelassen. Bei dem römischen Pantheon, welches ein Halbkugelgewölbe von 43^{m} Durchmesser ist, besteht diese obere Oeffnung aus einem Kreise von ca. 9^{m} Durchmesser, also beinahe $^{1}/_{5}$ des ganzen Gewölbedurchmessers. Hierdurch erlangte man nicht nur eine bedeutend größere Leichtigkeit für die Masse des Gewölbes, da ein bedeutender Theil desselben ganz fehlt, sondern man verringerte auch zugleich den Seitenschub, und hätte folglich auch die Widerlager schwächer machen können, als bei der gänzlichen Zuwölbung nöthig gewesen wäre, und überdies vermied man den gefährlichsten Theil der Construction gänzlich.

Zunächst des Halbkreises steht das flache Kreisstück für die Ausübung am bequemsten da, man nennt es auch den Stichbogen, und ein Gewölbe im Stichbogen nennt man ein Kappengewölbe, auch wohl preußisches Kappengewölbe zum Unterschied von dem böhmischen und dem Kreuzkappengewölbe.

Der Spitzbogen kommt mehr bei Kirchenbauten vor, da er verhältnißmäßig größere Höhen in Anspruch nimmt als die erstgenannten Linien.

Der sogenannte gedrückte Bogen, wozu die Ellipse und der Korbbogen gehören, werden gewöhnlich nur zu Gurtbogen von Gewölben und zu Brückenbogen benutzt, aber fast nie zu ganzen Wölbungen der Räume und auch nicht im Aeußeren der Gebäude verwendet.

Die Kettenlinie, obgleich sie die festeste von allen ist, wird in der Ausübung fast nie gebraucht, da ihre Anwendung dem Steinschnitt und der Arbeit selbst große Weitläufigkeiten und Schwierigkeiten entgegensetzt.

Die übrigen krummen Linien, wie die Parabel, Hyperbel, die Cykloide ꝛc. werden hier weiter nicht erwähnt, da man statt ihrer bequemer die gedrückte oder erhöhte Ellipse, die Bogen aus Kreisstücken oder den Spitzbogen gebraucht.

Es ist ein wesentlicher Vortheil für die Ausführung, wenn man ein solches Bogensystem wählt, wo die einzelnen Steine (besonders bei Hau- oder Schnittsteinen) möglichst allerlei Gestalt annehmen können, weil die Arbeiter dadurch eine außerordentliche Vereinfachung ihres Geschäfts haben. Diesen Vortheil bieten alle Kreislinien, folglich der Halbkreis, der Stichbogen. Weniger die Ellipse und alle aus vielen Punkten construirte Bogen.

Bei Gewölben von gebrannten Mauersteinen mit Mörtel, wo ursprünglich alle Steine gleich sind und gewöhnlich erst durch das Hauen die erforderliche Gestalt zur Bildung des Fugenschnittes erhalten, ist zwar der Einfluß nicht so groß, allein bei der Ausführung immer noch so merklich, daß man lieber kreisförmige Linien wählt, als andere. Man hat früher eigens geformte Gewölbesteine gebrannt, welche keilförmig gestaltet waren (ohngefähr wie man noch jetzt die Brunnensteine formt, welche für gewissen Durchmesser passen); allein wegen der großen Verschiedenheit der Bogenweite und Gewölbe ist es bequemer die gebrannten Mauersteine zu hauen, und nur dann ist es vortheilhaft, eigens geformte Wölbsteine brennen zu lassen, wenn viele Bogen zu fertigen sind, die denselben Radius haben.

Die Gurtbogen bei einer Unterkellerung oder einem gewölbten Stockwerke werden wegen besseren Zusammenhanges des Mauerwerkes gleich mit den übrigen Mauern aufgeführt und überwölbt. Das Widerlager für die Kappen wird beim Wölben der Gurtbogen gleich eingehauen resp. ausgespart, die Kappen selbst muß man jedoch erst dann einwölben, wenn das Dach wenigstens eingehängt ist, damit die Gewölbe nicht durchweichen, sich senken, drücken oder einstürzen. Der Einsturz selbst eines kleinen Gewölbes giebt wenigstens Andern

Gelegenheit zu übler Nachrede und zur Schadenfreude; sind aber Menschen dabei verunglückt, dann treten die Strafen des Gewissens und des Gesetzes hinzu. Wölbt man daher einzelne Keller- oder Corridorgewölbe zu, ehe das Dach angehängt ist, so darf man das Lehrgerüst nicht zu früh wegnehmen, außerdem aber muß man in der Widerlagsmauer hin und wieder ein kleines Loch lassen und sorgen, daß das Regenwasser von der Hintermauerung sich nach diesen kleinen Kanälen zieht und abfließt, weil sonst das Gewölbe und die Widerlagsmauern ersäuft werden und einstürzen können.

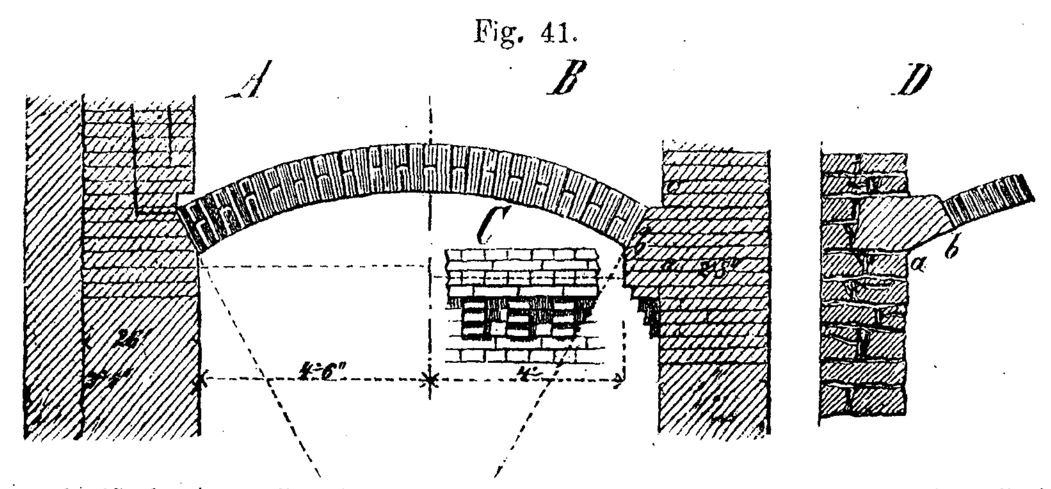
§ 5.

Verstärkung der Widerlager durch Ueberkragung (vorgemauerte Widerlager.)

Wir haben bereits früher erläutert, daß man einen Raum durch Ueberkragen der Steine überdecken kann und daß dabei die Mauern keinen Seitenschub erleiden, welcher sie nach außen drängen könnte, und es wird sonach einleuchten, daß, wenn man wenigstens den unteren Theil des Gewölbes durch Ueberkragen der Steine herstellt, man den Seitenschub dieses Theils vermeidet, gleichzeitig aber (was für flache, wie für steilere Gewölbe gleich wichtig ist) die Spannweite vermindert und die Widerlager ohne große Mehrarbeiten und Kosten bedeutend verstärkt.

Fig. 41 A B stellt einen flachen Bogen dar, für den das Widerlager der linken Seite ohne, das der rechten Seite mit Ueberkragung angenommen ist. Wäre die Spannweite des Bogens 3m, so würde

Fig. 41.



das freistehende Widerlager der linken Seite, abgesehen von der Höhe der Mauer, mindestens 1 m stark zu machen sein, wenn nicht hohe obere Mauern dem Seitenschub entgegenwirken und wenn man sich

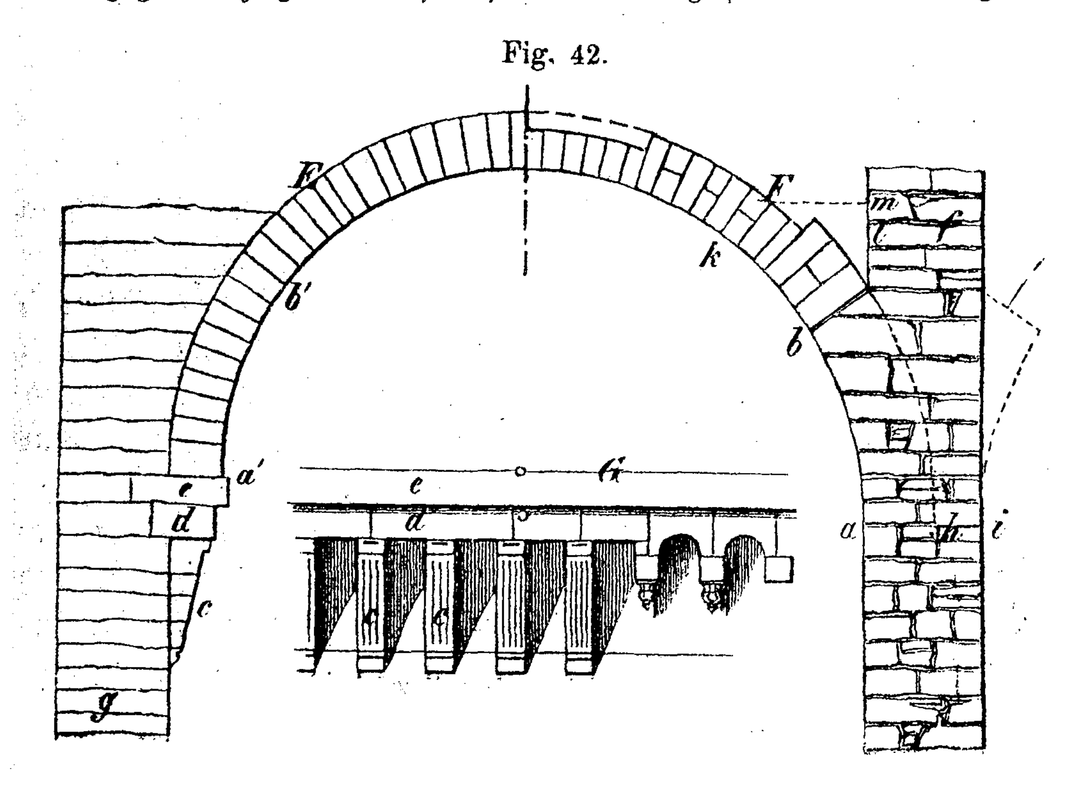
auf die Anbringung von Zugankern nicht verlassen will. Bildet man hingegen die ersten Schichten durch eine 16^zm^ starke Ueberkragung, so wird die Spannweite des eigentlichen Bogens um 2 mal 16^zm^ oder um 32^zm^ verringert, also statt 3^m^ nur 2,68^m^, dabei aber wird das Widerlager um 16^zm^ verstärkt, oder wenn man kein stärkeres Widerlager braucht, so kann man in diesem Fall den unteren Theil der Widerlagsmauern schwächer machen. Ein solches Auskragen, wodurch das Widerlager verstärkt, namentlich der Schwerpunkt desselben nach der Innenseite des Bogens verlegt wird, gleichzeitig aber der Bogen kürzer, also die Kraft, welche auf Auseinanderschieben oder Umwerfen des Widerlagers wirkt, vermindert wird, ist ganz besonders zu empfehlen 1) wenn der Bogen von oben stark belastet, also der Seitenschub vermehrt wird, ohne daß man Ablastebögen zweckmäßig anwenden kann; 2) wenn die Widerlager verhältnißmäßig schwach sind, und 3) wenn man ohne besondere Mühe und Kosten die Construction möglichst solide und gut ausführen will.

Das Ueberkragen oder Vormauern der Widerlager geschieht entweder nach der Bogenlinie, oder, was sich bei Ziegelmauern auch bequem macht, etwa in der Fig. 41 B angegebenen Weise. Fig. 41 C verdeutlicht die Ansicht.

Wenn man größere Steine oder selbst rauhe Werksteine billig haben kann, so geschieht dies Vorkragen der Widerlager nach Fig. 41 D.

Fig. 42 zeigt eine ähnliche Anordnung für ein Tonnengewölbe

Fig. 42.



(bei einer Durchfahrt) am Giebel des Hauses oder für einen Thürbogen dazu.

Bei E ist das Widerlager dadurch verstärkt, daß man Consolen oder Kragsteine cc vorlegt, dieselben mit Steinen d und e überdeckt und auf diesen den Bogen oder das Gewölbe anlegt, ohne die schwache Widerlagsmauer g noch mehr zu schwächen; gleichzeitig ist dadurch die Spannweite des Bogens um die Größe der Vorkragung verringert. Es wird durch dies Ueberkragungsverfahren der Schwerpunkt des Widerlagers möglichst von der Außenfläche abgerückt, was für die Stabilität von großer Wichtigkeit ist. Fig. 42 G stellt einen Theil

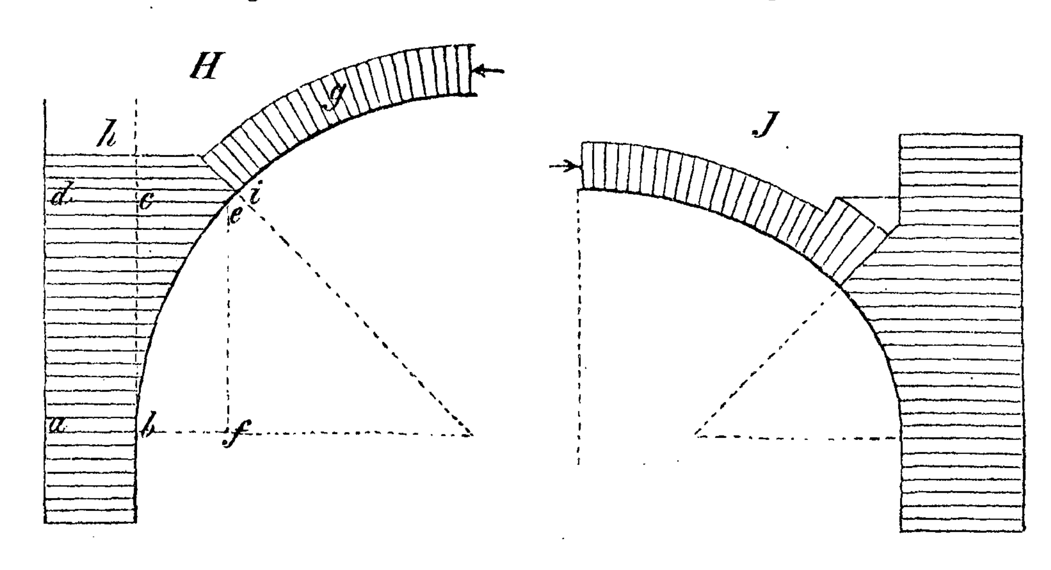
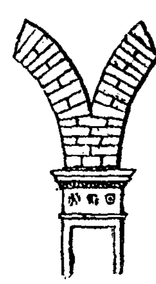


Fig. 43. Fig. 44.

der Auskragung in dieser Ansicht dar, und zwar links mit gerader Ueberdeckung der Consolen, rechts mit bogenförmiger.

Eine andere Art das Widerlager für den Halbkreisbogen zu verstärken, ist bereis früher besprochen und wird durch Fig. 42 F und Fig. 45 erläutert. Die ersten Schichten sind in Fig. 42 F nach der Bogenlinie so weit horizontal vorgemauert, daß die obere Mauer b nicht mehr auf das Gewölbe trifft, wodurch das Widerlager bei b hinreichend verstärkt ist, um dem Seitenschub widerstehen zu können, wenn selbst statt der Mauer f blos eine Hintermauerung vorhanden wäre.

Fig. 45.



Das Gewölbe Fig. 42 F ist nach dem Widerlager hin stärker oder nach dem Scheitel hin schwächer, und ist dies Verfahren sowohl für Bruchsteine, wie für Ziegelgewölbe oft ausgeführt und, wie § 4 erwähnt, sehr zweckmäßig.

Hätte man Fig. 42 F das Widerlager nicht verstärkt, sondern das Gewölbe bei ah begonnen, so würde die Widerlagsmauer ausweichen und das Gewölbe einstürzen können. Dieser Fall wird auch dann noch eintreten, wenn die Mauer f zur Verstärkung des Widerlagers zwar sehr hoch ist, aber der Halbkreisbogen ebenfalls durch eine eben so hohe Mauer belastet ist. Hierzu kann aber noch ein ganz anderer Umstand treten; da nämlich die Mauer f auf dem kleinen Fuß hi ruht, so kann dieser durch die Last des darüber befindlichen (Thurm=) Mauerwerks zermalmt und somit der Einsturz herbeigeführt werden. Man vergleiche den Nachtrag zu dem Gutachten über den Einsturz eines Thurmes in der Zeitschrift für Bauhandwerker, Jahrg. 1859.

Ebenso wie für den Halbkreisbogen erfolgt das Auskragen für den gedrückten oder Korbbogen, sofern die Widerlagsmauer nicht hinreichend stark ist, also auch nicht durch Pfeilervorlagen verstärkt wird. Vergl. Fig. 44 J.

Was die Größe der Auskragung betrifft, wenn die unteren Widerlagsmauern fast gar keinen Seitenschub erfahren sollen, so wollen wir diese, um schwierigere Rechnungen zu vermeiden, nur anschaulich und annähernd zu bestimmen suchen. Wir haben bereits einige Fälle kennen gelernt, wie man größere Räume durch Ueberkragen größerer Steine überdecken kann, und haben gesehen, daß der überkragte Stein herunterfällt, wenn er so weit überkragt, daß sein Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist. Rückt man den Stein etwas zurück, so fällt er nicht mehr nach innen, hat aber doch ein größeres Bestreben dazu, als nach außen zu fallen, und ist er mit der Mauer fest verbunden, so zieht er die Mauer etwas nach innen, und dasselbe thut jeder andere überkragte Stein. Jeder Wölbstein hingegen, dessen Tangente an den Fugenschnitt sich mehr der Wagerechten nähert, strebt die Widerlagsmauer nach außen zu drängen und man sieht, daß es auf diese Weise durch Verbindung der Vorkragung mit einem Gewölbe möglich ist, vollständiges Gleichgewicht herzustellen, so daß das untere Mauerwerk gar nicht beeinflußt wird, weder um nach innen zu fallen, noch um nach außen gedrängt zu werden. Um diesen Fall beurtheilen zu können, denken wir Fig. 43 H das Gewölbe zunächst weg und die Mauer nach der Bogenlinie be so weit überkragt, daß ce=dc ist, so steht die Mauer abcd noch vollständig fest, denn sie würde erst dann um den Punkt b sich drehen, und nach innen fallen können, wenn der hohle Raum bef ebenfalls vorgekragtes Mauerwerk wäre. Man sieht also, daß man die Mauer noch weiter hinauf als e überkragen

kann, wenn auch keine Aufmauerung h und kein Gewölbe g vorhanden ist. Ist aber ein solches vorhanden, dann kann man die Auskragung noch weiter fortsetzen und wird zuweilen dahin kommen können, daß das vorgekragte Stück ci gleich der Widerlagsstärke des Gewölbes wird, und daß also die eigentliche Widerlagsmauer abcd gar keinen Schub mehr von dem Gewölbe erfährt, sondern blos senkrechten Druck. Es ist dann das Bestreben des Widerlagers, nach innen zu fallen, gleich dem noch übrig bleibenden Gewölbeschub, folglich Gleichgewicht.

Man wird erkennen, daß man mit Hülfe dieser Ueberkragung zum Beispiel auch im Stande ist, gewölbte Kirchen bei verhältnißmäßig zu schwachen Widerlagsmauern herzustellen und ebenso würde das wieder öfters vorgekommene Einstürzen von Widerlagsmauern mit ihren Gewölben und die damit verbundenen Verluste an Menschenleben, gutem Ruf und Geld mit Hülfe einer zweckmäßig angeordneten Verstärkung der Widerlager durch Ueberkragung vermieden worden sein. Wenn man einmal sparen will, dann muß man wenigstens Ueberlegung gebrauchen und der Construction zu Hülfe kommen, und dazu werden vorgekragte oder horizontal vorgemauerte Widerlager für Halbkreis- und flachere Gewölbe, sowie für Gurtbögen gute Dienste leisten. Daß man außerdem den Seitenschub eines Gewölbes durch Anwendung guten Cementes, leichter Wölbsteine, eiserner Anker u. s. w. außerordentlich vermindern kann, wird hier noch nebenbei bemerkt.

§ 6.

Von den Gerüsten und Bogenstellungen der Gewölbe im Allgemeinen.

Das Besondere hiervon wird bei den am meisten üblichen Gewölben weiter unten abgehandelt werden.

Wenn man einen gewölbten Bogen (Gurtbogen) anfertigen will, so muß man zuvörderst ein hölzernes Untergerüst (Lehrgerüst) aufstellen, welches die einzelnen Gewölbsteine so lange unterstützt, bis der Schlußstein des Gewölbes eingelegt ist; denn bevor dieser nicht liegt, haben die einzelnen Gewölbsteine unter sich keine Spannung und keine Festigkeit, auch würden sie ohne Vorhandensein des Lehrgerüstes herabstürzen.

Zu jedem Lehrgerüst bedarf man mindestens zweier Lehrbogen, welche auf ihrer oberen Fläche (je nach der Stärke des aufzulegenden

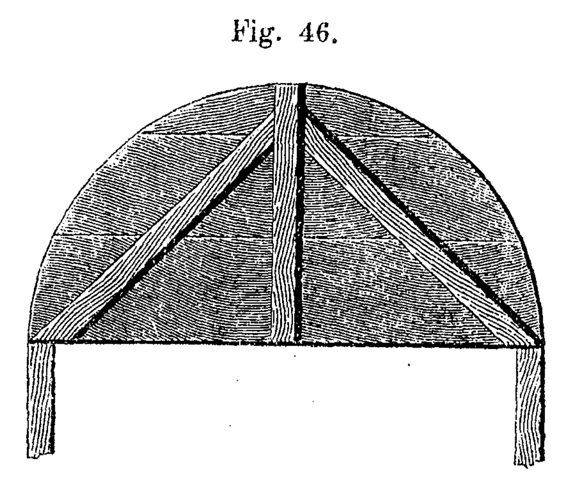
Gurtes) querüber mit Brettstückchen, Lattstücken oder Halbholzstücken belegt werden, um die aufzuhebenden Gewölbe zu unterstützen.

Eine Hauptbedingung der Lehrbogen ist, daß sie vollkommen fest und senkrecht stehen, daß sie selbst immer hinlänglich stark gefertigt werden, um der darauf ruhenden Last des Bogens genügenden Widerstand zu leisten, und daß sie auch vor Schwankungen nach den Seiten hin gesichert werden, welches letztere man durch quer angenagelte Hölzer und aufgeheftete Bretter oder Latten (besonders oberhalb) bewirkt wird. Die Anfertigung von dergleichen Lehrbogen ist je nach der Stärke und Größe des Gewölbes verschieden.

Soweit der Maurer die Bogen fertigt, bestehen sie aus Brettern. In den gewöhnlichsten Fällen genügt für kleine leichte Bogen ein einfaches Schalbrett, welches nach der Bogenlinie geschnitten wird.

Bei höheren Bogen legt man mehrere kurze Brettstücke horizontal an einander, bis sie die erforderliche Höhe geben, nagelt zur Festhaltung quer über die Brettstücke Latten und schneidet oberhalb die erforderliche Bogenlinie aus. Besser ist es jedoch, zwei schräge Leisten gegen eine lothrechte zu stoßen und fest zu nageln, wie in Fig. 46

Fig. 46.



Wachsen die Entfernungen und werden die Gewölbebogen schwerer, so reicht eine einzelne Brettstärke nicht aus, man muß alsdann die Lehrbogen aus doppelt oder dreifach neben einander genagelten Brettstücken anfertigen und sie auch von unten her gehörig durch senkrechte Stücken gegen das Einbiegen oder Zerbrechen schützen. Ein Zerbrechen solcher Gerüste würde begreiflicher Weise den augenblicklichen Einsturz eines noch unvollendeten Gewölbes nach sich ziehen.

Werden die Bogenöffnungen noch größer und die Gewölbelast schwerer, wie es bei großen Brückenbogen der Fall ist, so müssen Lehrbogen vom Zimmermanne sehr fest construirt aufgestellt werden Es müssen hierbei zwei Fälle unterschieden werden, nämlich ob man im Stande ist den Lehrbogen von unten her zu unterstützen, oder ob derselbe sich ganz frei, ohne Unterstützung von unten her, tragen soll.

Kann man den Lehrbogen, wie in Fig. 47, von unten her unterstützen, so ist es jedenfalls sicherer. Es werden dann Pfähle in den

Grund geschlagen, über welche man einen Rähm legt. Damit die Rähme nicht nach der Seite ausweichen, legt man quer darüber Zangen und zwar auf jeden Pfahl eine; über diese Zangen kommen die Schwellen der Bogenconstruction, worauf alle die Stützen, welche den Bogen von unten her halten, über diese kommen Verbindungshölzer nach der Länge des Bogens. Auf diese kommen wieder Querzangen, dann die eigentliche Bogenform aus Holzstücken gebildet, und quer über dieser liegt ein, aus schmalen oder starken Böhlen gebildeter Belag, welcher nur lose aufgelegt wird und bestimmt ist, die Gewölbesteine zu tragen. Ist der Bogen vollendet, so wird das ganze Gerüst abgenommen. Wie viele solcher Bogen hinter einander gestellt werden müssen, hängt lediglich von der Breite und Schwere des Gewölbes ab.

Fig. 47.

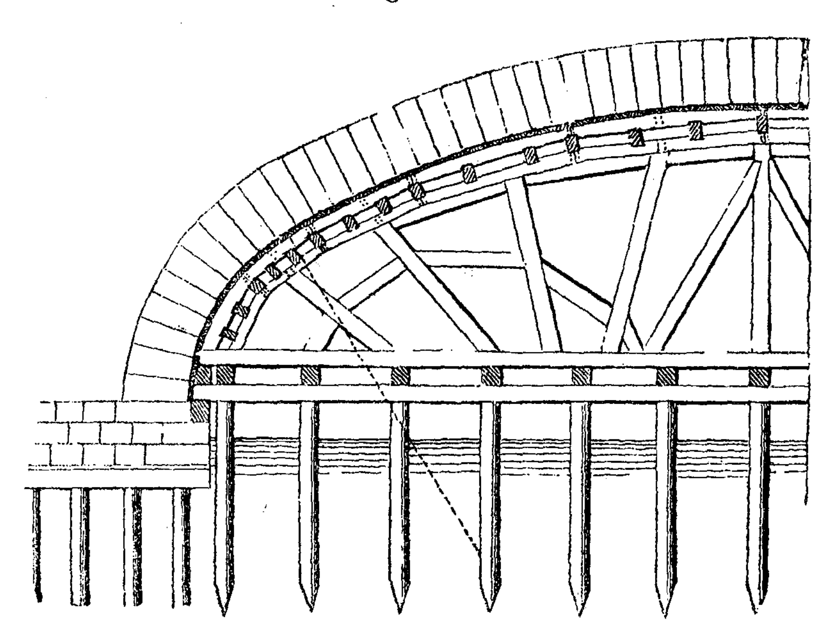
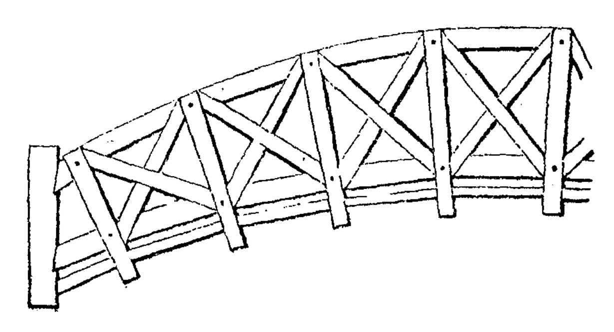


Fig. 48.



Kann man den Lehrbogen von unten her, wie in Fig. 48 nicht unterstützen, so muß ein sehr festes, an die Stirnmauern sich anlehnendes Häng- und Sprengwerk construirt werden, auf welchem der Belag zur Unterstützung des Gewölbes liegt. Da die

Anfertigung solcher Bogen nicht dem Maurer zukommt, so haben wir sie nur hier erwähnt und durch Figuren verdeutlicht.

Jedes Gewölbe drückt auf das darunter befindliche Lehrgerüst; um nun dieses nach Beendigung des Gewölbes leicht entfernen zu können, ist es unumgänglich nöthig, daß die Lehrbogen entweder auf Keile gestellt werden, damit durch das allmähliche Lüften dieser Keile das Lehrgerüst sich langsam senkt und nun leichter entfernt werden kann, oder daß man andere zweckmäßige Maßregeln, wie Sandkästen, Schrauben rc. hierzu anwendet. Thut man dies nicht, so legt sich das Gewölbe so fest auf das Lehrgerüst, daß man dieses nur entfernen kann, wenn man es gewaltsam herausschlägt. Hierdurch kann aber eine solche Erschütterung des Gewölbes erfolgen, daß es augenblicklich einstürzt, welcher Fall leider sehr oft vorgekommen ist und schon viele Menschenleben gekostet hat.

Da ferner jedes Gewölbe sich zusammen drückt oder setzt, sobald man das Lehrgerüst entfernt, so hat die Stellung der Lehrbogen auf Keile und das langsame Lüften derselben noch den Vortheil, daß dieses Setzen des Gewölbes langsam vor sich gehen kann. Das Lehrgerüst trägt, wenn die Keile gelöst werden, das sich nachsenkende Gewölbe, und man ist, selbst wenn das Gewölbe schlecht gemauert wäre, vor jedem plötzlichen Einsturz gesichert. Die untergelegten Keile müssen etwas stärker sein, als das Setzen des Gewölbes (bei guter Arbeit) beträgt, damit nach der vollständigen Entfernung der Keile das Lehrgerüst von der Gewölbelast frei wird. Da nun große Wölbungen sich verhältnißmäßig mehr setzen als kleinere, so ist es bei jenen um so mehr nöthig, die Lehrbogen gut zu unterkeilen.

Bei den Gewölben werden die ganzen Flächen von den Lehrbogen aus unterschalt, und auf diese Unterschalung die Gewölbesteine gelegt. Es giebt aber auch einige Arten von Gewölben, wo nur einige Lehrbogen allein deshalb aufgestellt werden, um die erforderliche Krümmung des Gewölbes bei der Arbeit zu bezeichnen und damit die Arbeiter diese Krümmung nicht verlieren. In diesem Falle wird die ganze Fläche des Gewölbes nicht unterschalt, welches eine große Ersparung an Zeit, Arbeit, Holz und folglich an Kosten gewährt.

Diese Gewölbe sind die Kuppel, das spitzbogige Kreuzgewölbe, das böhmische Gewölbe und die Kuppel im viereckigen Raume. Alle Gußgewölbe dagegen bedürfen einer vollständigen Unterschalung.

§ 7.

Das Tonnen- oder Kufengewölbe.

Es hat **gewöhnlich** die Gestalt eines nach der Länge halb durchgeschnittenen Cylinders und sein Gewölbebogen ist demnach der Halbkreis; denkt man sich einen Gurtbogen von beliebiger Bogenform seiner Länge nach fortgesetzt, so entsteht ebenfalls ein Tonnengewölbe, und dasselbe kann demnach auch elliptisch, spitzbogig &c. sein.

Früher bediente man sich zu Unterkellerungen der Gebäude noch sehr häufig des Tonnengewölbes; in neuerer Zeit verwendet man sie (außer wenn man mit Bruchsteinen wölbt) immer weniger, weil sie, als Halbkreis geformt, mindestens die halbe Breite eines Raumes zur Höhe verlangen, wodurch in der Regel hohe Kellergeschosse entstehen, welche man der großen Kosten wegen gern vermeidet.

Außerdem sind sie für die wirthschaftliche Benutzung nicht bequem, denn wenn auch in der Mitte eine hinlängliche Höhe vorhanden ist, um bequem gehen und stehen zu können, so fehlt sie doch an den Seiten, wo die Bogenlinie bis an die Erde herunterreicht, so daß man Schränke, Fässer &c. nur mit Raumverlust unterbringen kann.

Das Einwölben der Fensterkappen ist umständlich. Die Tonnengewölbe sind aber dagegen sehr dauerhaft, fest und feuersicher, da sie selbst von herabstürzenden Gebälken nicht zerschlagen werden; deshalb eignen sie sich zur Wölbung solcher Räume, worin man werthvolle Gegenstände aufbewahren will. Wir werden aber noch andere Gewölbearten kennen lernen, welche sich zu diesen Zwecken fast eben so eignen wie die Tonnengewölbe, und dabei eine für die Raumbenutzung bequemere Gestalt haben.

Fig. 49 zeigt den halben Grundriß eines Tonnengewölbes

Fig. 49.

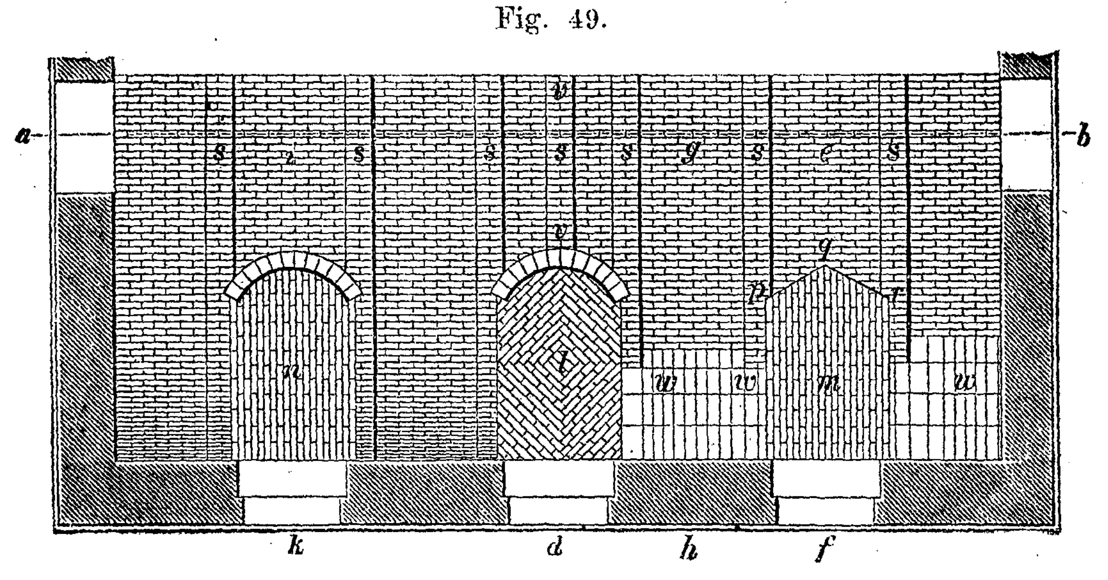


Fig. 50 zeigt den Längendurchschnitt durch den Scheitel des Gewölbes. Fig. 52 zeigt einen Querdurchschnitt nach der Linie cd des Grundrisses.

Da, wo Thüren und Fensteröffnungen durch das Gewölbe gehen,

Fig. 50.

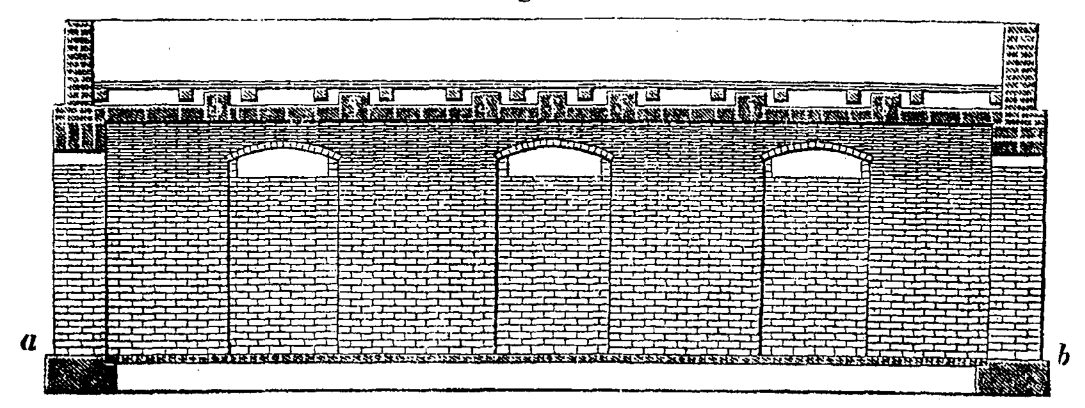
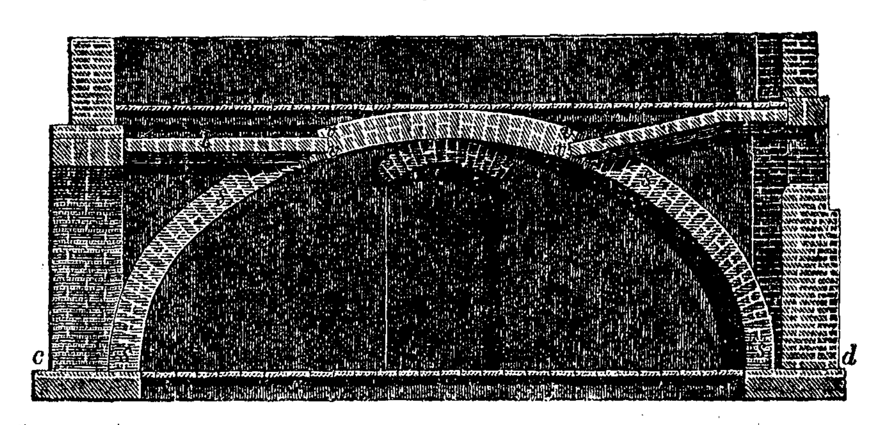


Fig. 51.



müssen kleine Wölbungen, die man Stichkappen nennt, angelegt werden; dieselben kann man auf verschiedene Art einwölben. In Fig. 279 ist bei 1 eine solche Stichkappe gezeigt wie sie, nach der Maurersprache, auf den Schwalbenschwanz eingewölbt, an den Zwischengurt sich anschließt. In Fig. 51 ist eine solche Anordnung im Durchschnitt gezeigt, und zwar links für eine Thür, rechts für eine Fenster-

Fig. 51.

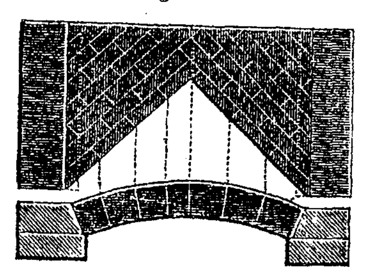
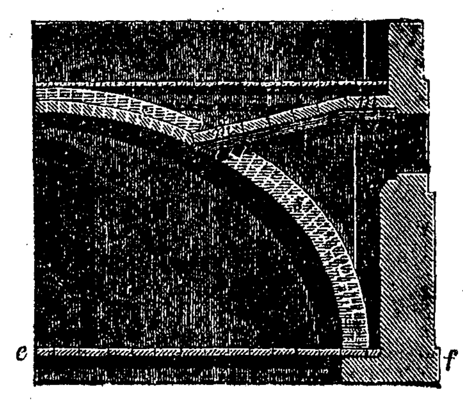


Fig. 52.



stichkappe. In Fig. 51 ist eine solche Stichkappe in größerem Maßstabe gezeichnet.

Eine solche Stichkappe kann aber auch, wie in Fig. 45 bei n im Grundriß und Fig. 54 im Durchschnitt gezeigt ist, gegen den Kranz gerade eingewölbt werden. Gewöhnlich aber wird dieselbe nur so wie im Grundriß Fig. 50 bei m und im Durchschnitt Fig 54 zu ersehen ist, ohne Kranz in das Hauptgewölbe eingesetzt. Diese Art Stichkappen nennt man Ohren, und die Linien pq pr Fig. 49, wo sie mit dem Gewölbe zusammenstoßen, heißen die Grate.

Das hier dargestellte Tonnengewölbe ist nur $1/2$ Stein stark angenommen, weil es als gewöhnliches Kellergewölbe keine bedeutende Last zu tragen hat; daher sind die Verstärkungsgurte, welche in Fig. 49 und 50 mit s bezeichnet sind und circa $1^1/_4{}^m$ von einander entfernt liegen, einen Stein stark und eben so breit angenommen.

Erfordern die Umstände eine Verstärkung des Gewölbes, so werden in demselben Maße auch die Gurtbogen stärker gemacht, so daß sie jederzeit wenigstens $1/2$ Stein stärker sind, als das Gewölbe selbst. Diese Verstärkungsgurte dürfen übrigens nur an der oberen Fläche vortreten, wohingegen an der untern (innern) Gewölbefläche nirgends ein Gurt zu sehen ist. Der im Grundriß Fig. 39 mit vv bezeichnete Gurt dient dazu, dem Kranze mehr Spannung zu geben, wird aber selten wirklich ausgeführt.

Fig. 54.

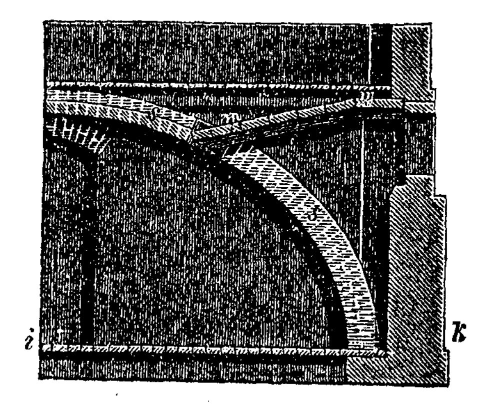
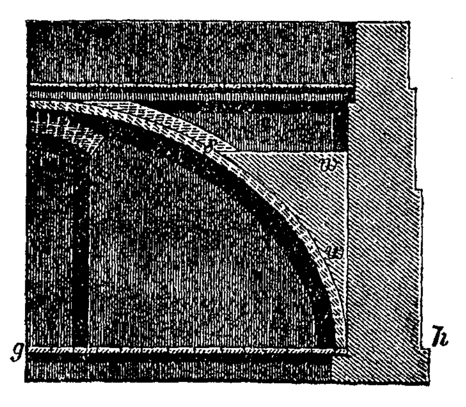


Fig. 55.



Endlich müssen die Gewölbeschenkel (wo das Gewölbe sich gegen die Mauern neigt), wenigstens $2/3$ der ganzen Höhe des Gewölbes nach, hintermauert werden, wie dies im Durchschnitte Fig. 55 ww angegeben ist.

Aus den in den Grundriß eingezeichneten Lagen der einzelnen Steinschichten ersieht man sogleich die anderweitige Anordnung des

Gewölbes, sowohl bei dem Hauptgewölbe, als bei den Kappen und Gurten. Bei ww im Grundriß sieht man auch die Lage der Steine für die Hintermauerungen.

Jedes Tonnengewölbe bedarf eines vollständigen Lehrgerüstes, und die einzeln einzuwölbenden Stichkappen bekommen kleinere Lehrgerüste, welche auf das Hauptgerüst aufgesetzt werden.

Sind die einzuwölbenden Kappen wie bei n und l Fig. 49 durch Bogenkränze begrenzt, so werden sie erst nach Vollendung des Hauptgewölbes, der Gurte und Kränze eingewölbt. Haben die Kappen aber wie bei m keinen Kranz als Schluß, so wölbt man sie gleich mit dem Hauptgewölbe zusammen ein.

Wo man Bruchsteine, Schiefer und namentlich Sandsteine billig hat, wendet man selbst unter Wohnräumen das Tonnengewölbe noch häufig an; man benutzt dann die mehr regelmäßigen Steine (sogenannte Wölbsteine), die 30^{zm} lang und breit und etwa 23^{zm} stark sind. Bei ungleich starken Steinen hilft man sich durch Sortiren derselben, so daß in die eine Schicht lauter stärkere und in die andere lauter schwächere Steine kommen und also möglichst parallele Lagerfugen erhalten werden; um dies zu erreichen, hilft man auch mit dem Maurerhammer, dem Schellhammer und auch mit der Zweispitze nach. Immer aber muß das Abspitzen der Steine geschehen, bevor dieselben Mörtel erhalten haben. Steine, die sich keilförmig nur schwierig bearbeiten lassen würden, werden mit harten Steinschiefern so weit verzwickt, bis ihre obere Lagerfläche rechtwinklig zur Einschalung steht, also wie man sagt, weder zu stolz oder steil, noch weniger aber zu faul oder schwach ist. Der Querschnitt des Gewölbes ist gewöhnlich ein Halbkreis oder ein Kreisbogen, der höher ist als $1/3$ der Breite des zu wölbenden Raumes, wobei dann der Radius größer wird, als die halbe Tiefe; in seltneren Fällen ist der Querschnitt ein gedrückter oder Korbbogen.

In allen Fällen ist es zweckmäßig, die ersten Schichten durch Vorziehen oder Auskragen zu bilden, wie dies die Figuren 42 F 43 J (vergl. § 5) erläutert haben. Wenn man sich dabei den Bogen ab Fig, 42 F an einer Schildmauer vorschreibt, so ist man im Stande die Ueberkragung bis b auszuführen, ehe die Lehrbogen gestellt werden, was die Arbeit oft bequemer macht. Hierauf werden die Lehrbogen, wie früher angegeben, auf Keile gestellt, gehörig unterstützt, mit Latten oder Brettern eingeschalt und das Gewölbe, von beiden Widerlagern aus gleichmäßig fortschreitend, eingewölbt. Das

Einwölben der Stichkappen im Anschluß an das Tonnengewölbe erfolgt ganz ebenso, wie dies späterhin für das Kreuzgewölbe aus Bruchsteinen beschrieben wird. Haben die Wölbsteine ungleiche Höhe dann nimmt man die höheren gern unten am Widerlager, und stößt auch bei stärkeren Gewölben zwei Steine zusammen, so daß Läufer- und Streckerschichten entstehen. Zur Schlußschicht und besonders zu den beiden daneben befindlichen Schichten nimmt man ganze Steine. Die Steine zur Schlußschicht werden trocken eingepaßt und so bearbeitet, daß sie ohne Mörtel einen ziemlichen Schluß geben. Hierauf wird stark angenäßt, dann Mörtel an die Lagerfugen der benachbarten Schichten und an den einzusetzenden Schlußstein gegeben nnd alsdann wird der Schlußstein eingetrieben. Geschieht dies mit einem schweren Hammer oder Stein, so legt man Holz unter, um den Schlußstein nicht zu zerschlagen; ebenso nimmt man dazu auch eine hölzerne Handramme. Es ist gut, wenn die Schlußsteine blos auf einer Latte statt auf einem Schalbrett ruhen, weil dann der viele von den Lagerfugen hinuntergedrängte Mörtel durchfällt, und so die Schlußschicht nicht zurückbleibt. Man schließt gewöhnlich von den Enden nach der Mitte zu. Der letzte oder eigentliche Schlußstein größerer Gewölbe wird von den Maurern gern mit besonderer Vorliebe behandelt und dem Bauherrn empfohlen (da Anfeuchtung dem Gewölbe vortheilhaft sei).

Nach dem Schließen wird das Gewölbe abgefegt, mit Wasser übergossen, die Unebenheiten etwas mit Steinzwickern und Mörtel abgeglichen, die Widerlager und Hintermauerung aufgeführt. Nachdem der Mörtel einigermaßen fest geworden, etwa nach Verlauf von drei Tagen, bisweilen aber erst nach acht Wochen (je nach der Stärke des Gewölbes, je nach der Witterung und anderen Umständen) lüftet man die Keile, und rüstet dann aus, wenn kein starkes Setzen erfolgt. Um das Senken großer Gewölbe, die keine Schildmauern haben (Brückengewölbe) zu erkennen, schreibt man vom Scheitel des Gewölbes (mit Hülfe der Waglatte und Setzwage) eine wagerechte Linie nach den Widerlagern an und sieht zu, wie viel der Scheitel heruntergekommen ist. Bei Kellergewölben erkennt man es daran, ob die gelüfteten Keile später wieder fester sitzen. Um die Lehrbogen entfernen zu können, ohne sie zu zerschlagen, ist man bisweilen genöthigt, eine Schildmauer bis nach der Ausrüstung des Gewölbes theilweise auszusparen und also die angrenzenden Mauertheile einstweilen mit Abtreppung aufzuführen.

Was die Stärke des Tonnengewölbes betrifft, welches auf ⅔

hintermauert ist, und außer dem Parterrefußboden keine fremde Beerhält, so beträgt:

die Gewölbestärke bis a 5^m $1/2$ Stein, über 5^m 1 Stein im Scheitel,

wobei die Stärke nach dem Widerlager allmählich zunimmt.

Außerdem werden noch auf je $1^1/_4{}^m$ Entfernungen Verstärkungsbögen von 1 Stein, resp. $1^1/_2$ Stein angelegt.

Die Widerlagsstärke richtet sich nach den Gewölbeformen und zwar:

beim halbkreisförmigen Gewölbe beträgt sie $1/4$ bis $1/5$ der Spannweite,

beim überhöhten und spitzbogigen Gewölbe $1/5$ bis $1/6$,

beim gedrückten und Spitzbogen $1/4$ bis $1/3$,

beim scheitrechten Bogen durch das Widerlager nicht unter $2/3$ der lichten Bogenweite sein.

Setzen die Gewölbe sich nicht direct auf den Boden, sondern liegen die Widerlagslinien a 2 bis 3^m über dem Fußboden, so werden die Widerlagsstärken um $1/6$ bis $1/8$ vergrößert.

§ 8.

Das Kappengewölbe.

Dasselbe könnte man auch flaches Tonnengewölbe nennen. Zum Unterschiede vom Kreuzkappen- und dem böhmischen Kappengewölbe ist auch die Bezeichnung „preußisches Kappengewölbe" in Vorschlag gebracht worden.

Denkt man sich zwischen zwei parallel mit einander laufenden Mauern oder Gurten einen Raum eingeschlossen, welcher ein längliches Viereck bildet, und diesen Raum nach einem Kreis-Bogenstück überwölbt, so entsteht das Kappengewölbe. Die Bogenlinie desselben bildet einen sogenannten Stichbogen. Wir haben früher erwähnt, daß bei gleicher Spannweite ein flacher Bogen an sich weniger Festigkeit habe, als ein steilerer. Es folgt schon hieraus, daß ein Kappengewölbe, welches mit einem Tonnengewölbe gleiche Stärke hat, dem ungeachtet ungleich schwächer ist, als letzteres. Dies ist auch wirklich der Fall. Ein Kappengewölbe ist bei der gewöhnlichen Stärke von $1/2$ Stein selten feuersicher, es wird von herunterstürzendem Gebälk 2c. durchgeschlagen, und man irrt sich also sehr, wenn man in einem, mit gewöhnlichen Kappen geschlossenen Kellerraume

einen absolut feuersicheren Ort zu haben vermeint. Ebenso verträgt es keine starke Belastung, wo diese eintritt, muß man ihm mehr Pfeilhöhe geben und das Gewölbe einen Stein stark machen. Nichtsdestoweniger sind in der letzten Zeit die Kappengewölbe deshalb fast immer den festeren Tonnengewölben vorgezogen worden, weil die Kappen weniger Material erfordern und somit wohlfeiler sind und weil sie den inneren Raum weniger beengen, da die Kellermauern senkrecht zur Benutzung bis zum größten Theile ihrer Höhe verbleiben. Fig. 58 stellt den Grundriß eines solchen Gewölbes mit zwei Kappen vor. Fig. 57 zeigt den Längendurchschnitt nach der Linie CD des Grundrisses. Fig. 61 die Hälfte des Längendurchschnittes nach der Linie EF des Grundrisses durch die Mitte der Kappe im doppelten Maßstabe. Fig. 59 den Querdurchschnitt nach der Linie AB des Grundrisses desgleichen.

Soll ein länglich viereckiger Raum mit einem Kappengewölbe bedeckt werden, so muß man gleichlaufende 2—4^m von einander abstehende Gurtbögen aufführen, welche bei einer Stärke von $1^1/_2$—2 Stein eine Höhe von $1^1/_2$—$2^1/_2$ Stein, auch noch mehr erhalten.

Die Gurtbögen dienen als Widerlager der quer dazwischen gewölbten Kappen, welche gewöhnlich $^1/_2$ Stein stark werden.

Es ist einleuchtend, daß diese Kappen um so fester werden, je mehr sie Steigung haben (je höher der Bogen ist, den sie bilden), man nimmt aber zu dieser Steigung selten **mehr** als $^1/_6$ der lichten Kappenbreite und nie **weniger** als $^1/_{12}$ der lichten Kappenbreite, gewöhnlich aber $^1/_8$ derselben zur Höhe der Kappe.

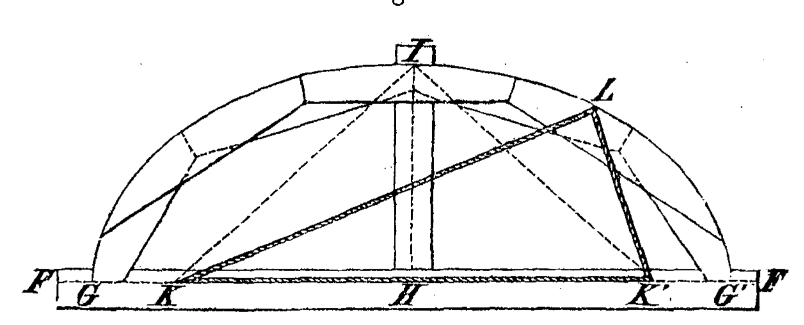
Sobald die Fundamentmauern bis zur Höhe des Kellerfußbodens aufgeführt und wagerecht abgeglichen sind, so werden zunächst die Kellerfenster DF Fig. 58, sowie die Kellerthüren darauf angegeben. Hierauf legt man die Kellermauern und die Gurtbogenpfeiler aa (Fig. 58) an, und dann werden die Kellermauern bis etwa 16^zm über die lichte Höhe der Gurtbogen aufgemauert.

Ist die Breite des Kellers unter 5^m und sind die Fundamente stark genug, einem bedeutenden Seitenschube zu widerstehen, so können die Gurtbogenpfeiler allenfalls wegbleiben. Dies wird z. B. der Fall sein können, wenn die Kellermauern mindestens so stark sind, als der vierte Theil der lichten Gurtbogenweite. Wenn aber auf eine solche Festigkeit bei den Fundamentmauern nicht zu rechnen ist, so müssen die Gurtbogenpfeiler nach Umständen einen halben, einen ganzen, bis anderthalb Stein vorspringen, bis der Vorsprung mit der

Kellermauer zusammen mindestens so stark ist, als $^1/_4$ der lichten Gurtbogenweite.

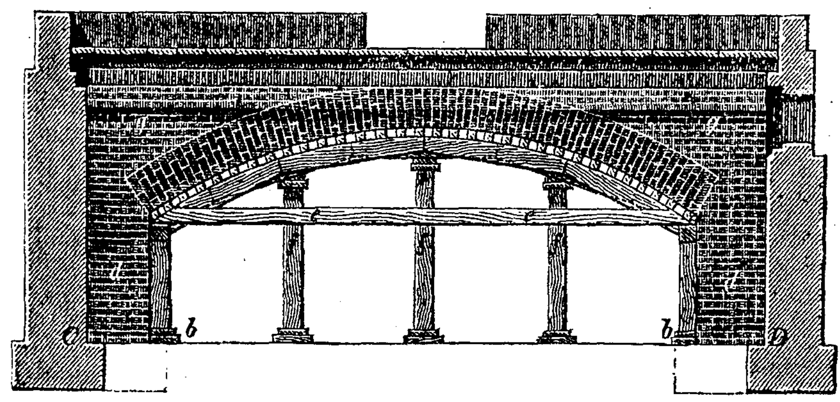
Hat man nun die Kellermauern bis 16^{zm} über die lichte Höhe des Gurtbogens aufgemauert, so müssen die Lehrbogen für die Gurte aufgestellt werden. Diese werden auf folgende Art angefertigt, angenommen, daß Gurtbogen von elliptischer Form hergestellt werden sollen. Man befestigt zwei Bretter GG und HI so mit einander, wie Fig. 56 zeigt, macht darauf die beiden Schnurschläge GG' und HI

Fig. 56.



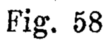
genau rechtwinklig auf einander, und trägt die lichte Höhe des Gurtbogens über der Ausgleichung (Fig. 57) der Pfeiler weniger 2^{zm}, als Dicke der Schalung von H nach I; sowie die halbe Weite weniger 2^{zm} auf beiden Seiten von H nach G und G'. Auf dem Schnurrschlage GG' bestimme man die beiden Punkte KK' in gleicher Entfernung von H, und zwar so, daß IK=IK' gleich der halben Länge

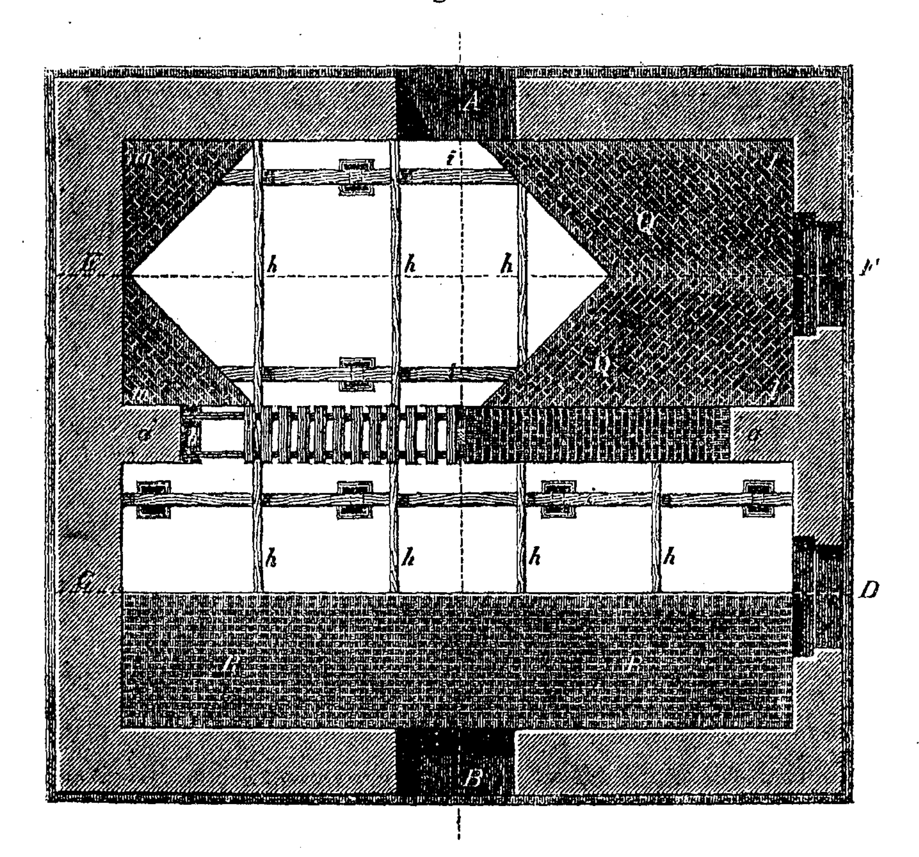
Fig. 57.



macht werde. In diesen Punkten werden Nägel eingeschlagen, eine Schnur KLK' um dieselbe gelegt, welche ausgespannt bis I reichen muß, und indem man mit einem Bleistift 2c. an der fortwährend ausgespannten Schnur herumfährt, beschreibt der Stift die elliptische Linie GILG' für den Lehrbogen, der dann aus doppelt zusammengenagelten Brettern gefertigt wird. Für jeden Gurtbogen sind zwei

solcher Lehrbogen erforderlich, die dann auf Klötze b b (Fig. 57 und 58) an den bezeichneten Orten nebeneinander aufgestellt werden, und zwar 3 zm enger zusammen, als der Gurtbogen breit werden soll. Hierauf werden quer über die beiden Lehrbogen Schallatten oder Bretter gelegt, die aber auf beiden Seiten so weit vorstehen müssen, daß die ganze Verschalung die Breite des Gurtbogens erhält. Man vergesse hierbei nicht unter die Lehrbogen flache Keile unterzulegen, damit man sie beliebig lüften kann. Auch nagelt man gewöhnlich das Brettstück im Scheitel der Lehrbogen fest, um das Umfallen der Lehrbogen zu verhüten. Bevor man die Schlußsteine einlegt, zieht man die Nägel aus, weil dann die Last des Gewölbes den Lehrbogen schon festhält.


Fig. 58



Die aus keilförmigen Brettstücken bestehenden Keile werden so eingetrieben, daß der Lehrbogen genau in die bestimmte Höhe zu stehen kommt, und seine unteren Enden mit der Gleiche der Bogenpfeiler übereinstimmen.

Diese Keile schlägt man nach Vollendung des Gurtbogens wieder heraus und lüftet dadurch den Lehrbogen, so daß er leicht weggenommen werden kann. Damit die Bogenschenkel nicht ausweichen

können, so ist es gut, wenn man quer über dieselben eine etwa 12 zm starke Latte ee (Fig. 57) aufgenagelt. Auch ist es nöthig, daß unter den Lehrbogen, zur Unterstützung der darauf ruhenden Last des Gurtbogens, an drei Punkten die Kreuzholzsteifen fff (Fig. 57) angebracht werden.

Nachdem man dergestalt die Lehrbogen aufgestellt und gehörig unterstützt hat, wird mit dem Einwölben des Gurtbogens, von beiden Enden zugleich, der Anfang gemacht und in der Mitte geschlossen.

Wenn man den unteren Theil des gedrückten Bogens nicht durch Ueberkragung, wie in Fig. 44 I herstellt, so müssen die Steine dabei so zugehauen werden, daß sie in engen Fugen an einander schließen, und alle Fugen rechtwinklich (normal) auf die Bogenlinie zu stehen kommen. Der Schlußstein muß genau keilförmig zugehauen und allenfalls abgerieben werden, damit er in allen Punkten an die zunächst liegenden Wölbesteine anschließe.

Ein gewöhnliches Verfahren der Maurer, daß sie die Wölbesteine selbst für den unteren stark wölbenden Bogentheil nicht hauen, sondern die schräge Richtung derselben gegen einander allein durch größere Kalkfugen herauszubringen suchen, muß man durchaus nicht dulden und im Uebrigen muß man möglichst schwache Fugen geben, denn der viele Kalk in den Fugen drückt sich, wenn das Lehrgerüst entfernt ist, zusammen, so lange er naß ist, und veranlaßt ein stärkeres Setzen des Bogens, woraus nicht blos Senkungen in der Bogenlinie entstehen können, sondern sogar Einsturz des Gewölbes erfolgen kann. Das Wölben des Gurtbogens geschieht nach der Schnur, die von den Widerlagern aus gezogen und von Zeit zu Zeit höher gerückt wird. Ist man mit dem Wölben bis zur Höhe g Fig. 57 gekommen, die etwa 8 zm über der Unterkante des Gewölbescheitels liegt, so wird an den folgenden Wölbsteinen das horizontale Widerlager gg für die einzuwölbenden Kappen schräg eingehauen, wie dies Fig. 59 bei gg im Querschnitt zu sehen ist. Es ist immer sehr fehlerhaft, wenn man dieses Widerlager erst dann einhaut, wenn der Bogen bereits zum Schluß gekommen ist, weil man dadurch die Steine erschüttert und lose macht. Nachdem der Bogen geschlossen ist, wird er bis zur Gleiche des Scheitels hintermauert und an den Steinen, welche bei gg zu liegen kommen, wird ebenfalls vor dem Verlegen derselben das Widerlager eingehauen.

Fig. 59.

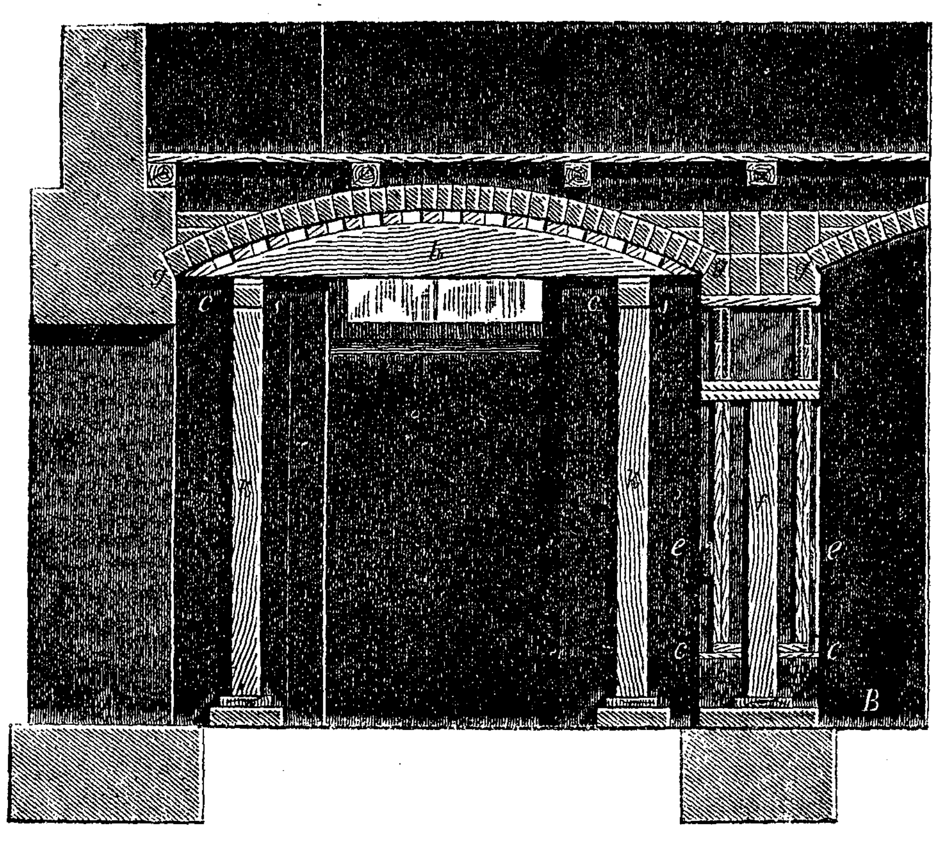
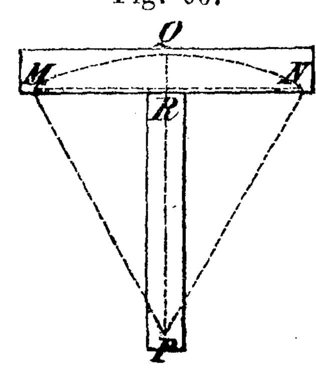
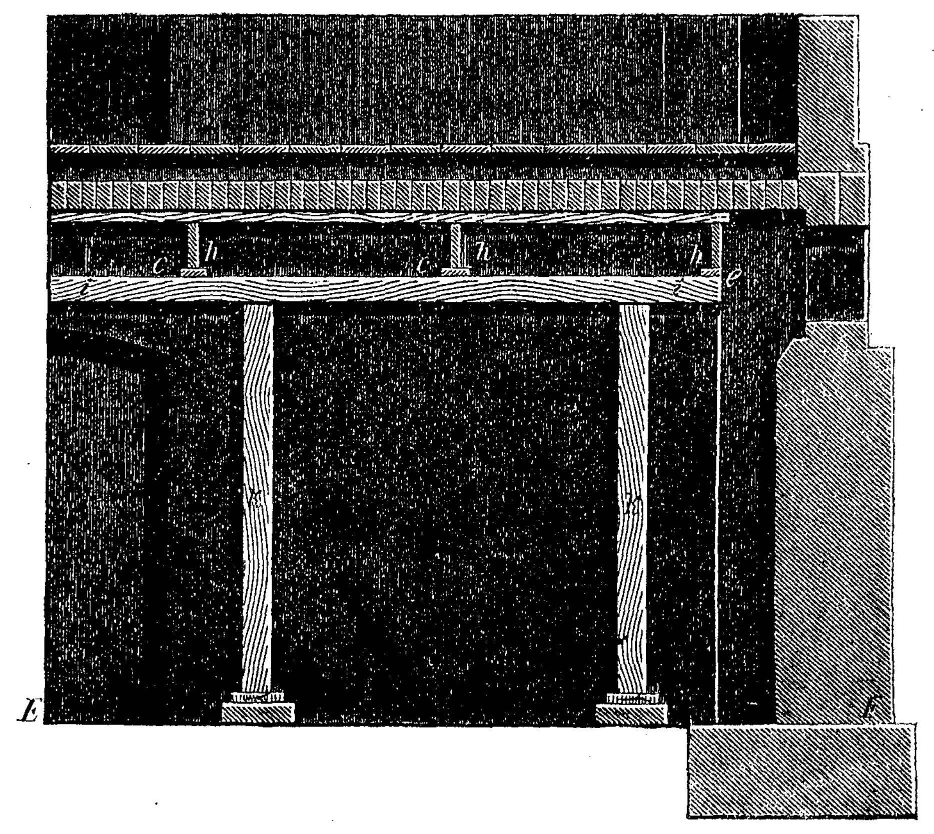


Fig. 60.



Nachdem das Gebäude unter Dach ist, werden die Kappen eingewölbt; dazu werden die Lehrbogen hhh (Fig. 60 und 61) aufgestellt, die man aus einzelnen Brettstücken MN Fig. 60 erst vorreißt und dann ausschneidet. Zu dem Ende wird ein Brettstück Q genau in der Mitte eines andern Brettes MN und rechtwinklig darauf befestigt, und der Mittelpunkt P bemerkt, aus welchem der Kreisbogen MN mit einem sogenannten Kreuzzirkel vorgerissen wird (vergl. § 1. 2.). Da die Lehrbogen der Kappen hoch über dem Kellerfenster zu stehen kommen, so ist für jede Kappe ein besonderes Gerüst erforderlich, das aus zwei Reihen Kreuzholzstielen kk (Fig. 61 und 63) und darüber gelegten Holmen oder Rähmen ii gebildet wird, worauf die Lehrbogen hh auf untergelegten Keilen cc ruhen. Ueber den Lehrbogen kommt dann die Verschalung von Brettern oder Latten, quer über die Kappenlehrbogen. Das oberste Brett desselben im Scheitel wird an die Lehrbogen festgenagelt, damit dieselben nicht umfallen können; wenn man mit der Wölbung bis an die Nägel gekommen ist, werden sie ausgezogen und der Schluß eingewölbt.

Fig. 61.



Bei den Lehrbogen der Kappen darf man aus gleichen Gründen, wie bei den Gurtbogen, die Keile cc nie vergessen. Die beste Art, die Kappen zu wölben, ist auf den Schwalbenschwanz, wie in Fig. 58 bei QQ angegeben ist. Vier Maurer fangen dabei in den vier Ecken mm ll gleichzeitig zu wölben an, wodurch die Arbeit besser gefördert wird, als wenn nur 2 Maurer zugleich anfangen. Alle Wölbschichten müssen im Scheitel der Kappe, oder in der Mittellinie EF zum Schluß kommen. Hat man mit 2 Maurern den Anfang der beiden Ecken ll und das Gewölbe so weit fertig gemacht, daß seine Spitzen die Mittellinie AB berühren, so kann man die beiden andern Ecken mm nachholen, und wenn auch dieser Gewölbetheil die Linie AB erreicht hat, so bleibt in der Mitte noch ein verschobenes Viereck, das aber durch fortgesetzte Arbeit immer kleiner wird, bis das Gewölbe zuletzt ganz zum Schlusse kommt. Die Maurer stehen bei dieser Arbeit auf der Schalung. Bei dem Wölben der Gurte stehen sie zur Seite. Nicht so gut, wiewohl leichter auszuführen, ist die Wölbungsart nach der Länge des Gewölbes (wie bei einem Tonnengewölbe), welche Fig. 58 bei RR vorgestellt ist.

Bei der ersten Wölbweise legt man die Setzwage, die ja ein rechtwinklig gleichschenkliges Dreieck ist, für die ersten Schichten horizontal

an, um die genaue Richtung derselben zu erhalten, und arbeitet dann meistens nach dem Augenmaß; bei der letzteren Wölbweise zieht man auf der Schalung die Schnur für jede Schicht.

Eine dritte Art der Einwölbung von Kappen muß hier noch erwähnt werden. Bei derselben gehen, wie in Fig. 62, 63 und 64 im Grundriß, Querschnitt und Längenschnitt zu ersehen, sämmtliche

Fig. 62.

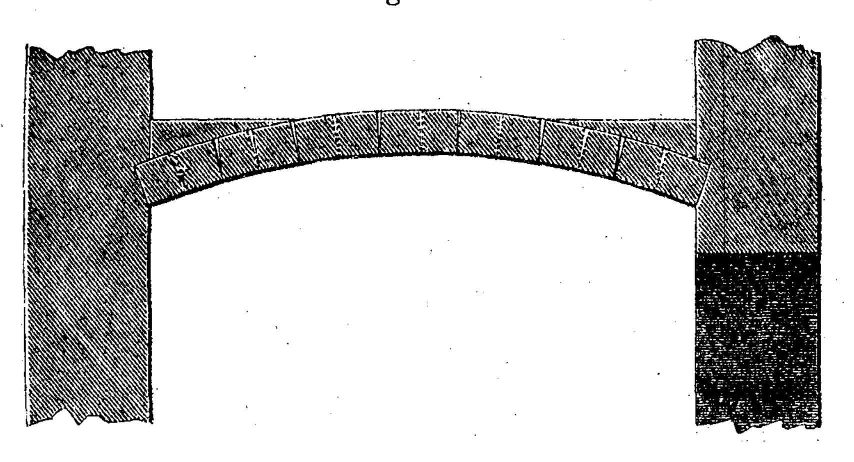
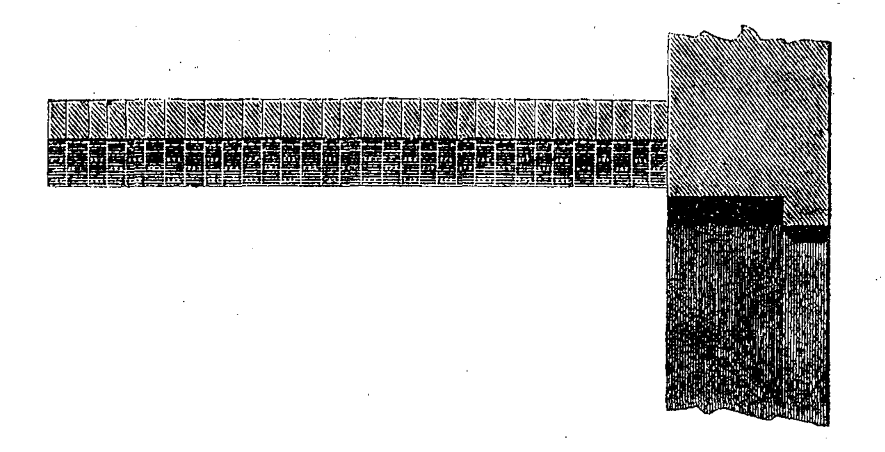


Fig. 63.

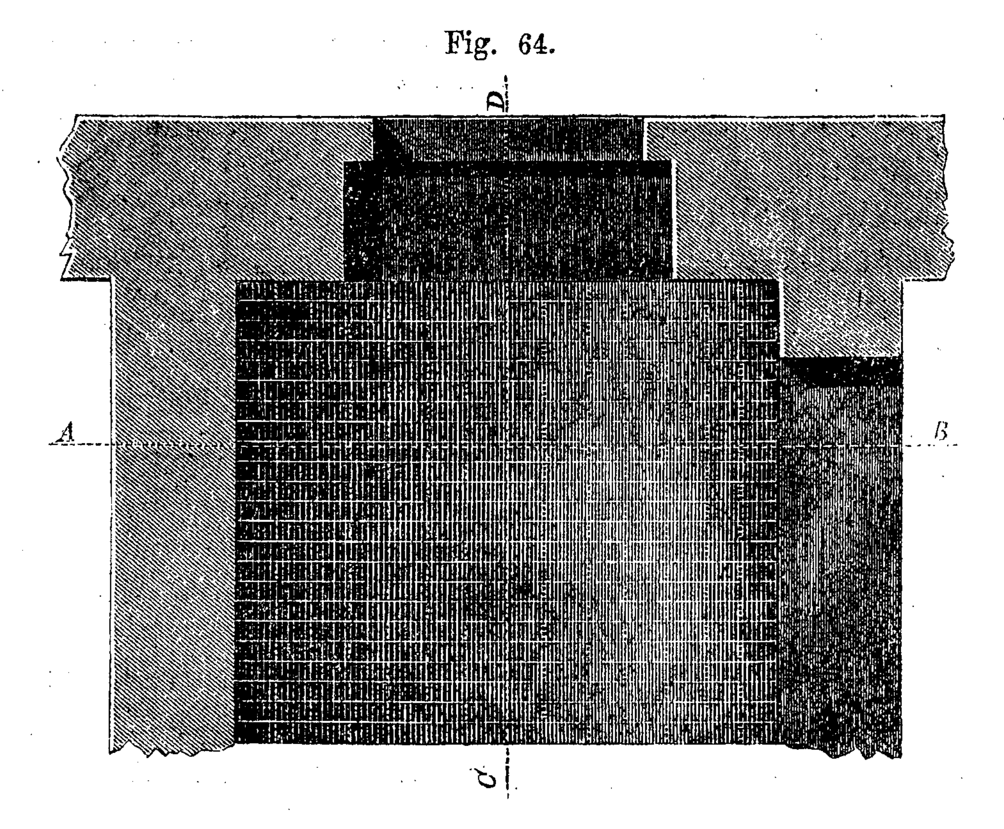


Schichten quer über den Bogen der Kappe und versetzen sich mit Fugen, die parallel dem Gewölbescheitel liegen. In Haustein wäre eine derartige Anlage sehr unzweckmäßig, auch schiebt dies Gewölbe vor der Erhärtung des Mörtels sehr gegen die Widerlager. Nach der Erhärtung aber wird es ungemein fest. Der Hauptvortheil dieser Moller'schen Kappe ist der, daß sie kein festes Lehrgerüst braucht, sondern auf den Rutschbögen eingewölbt wird. Schmale Kappen zwischen eisernen Trägern werden jetzt beinahe ohne Ausnahme so hergestellt.

Es ist vortheilhaft und sogar nothwendig, daß alle Kappen von

ihren Stirnenden CEDF Fig. 58 eine Steigung nach der Mitte zu erhalten, oder daß sie um ein paar zm gestochen werden, wodurch sich die Gewölbe mehr der böhmischen Kappe nähern und feste werden, weil dadurch außer der Spannung nach der Breite, auch noch eine nach der Länge des Gewölbes entsteht. Da, wo sich die Kappen an die Stirn- oder Schildmauern anschließen, haut man in letztere bogenförmige, etwa 13zm tiefe Streifen nach der Krümmung der Kappe, und eben so breit wie diese aus. In diese vertieften Streifen werden die Stirnenden der Kappen eingesetzt und dadurch der Anschluß an die Seitenmauern bewirkt.

Fig. 64.



Hat man nicht so viel Rüstungen und Lehrbogen, um alle Kappen zugleich einzuwölben, so darf nicht versäumt werden, den Gurtbogen auf der andern Seite gegen die gegenüberstehende Mauer abzusteifen, weil sonst ein Verschieben des Gurtbogens und ein Einsturz der Kappe zu besorgen ist. Man darf aber auch dann, wenn man die ersten drei Kappen zugleich einwölbt, nur die erste oder die ersten beiden Kappen ausrüsten und das Lehrgerüst für die vierte und fünfte Kappe benutzen, die dritte Kappe wird erst ausgerüstet, nachdem die vierte Kappe geschlossen worden ist u. s. w.

Je länger die Kappe im Verhältniß zu ihrer Breite wird, um so weniger fest wird sie, da bei der Wölbung auf den Schwalben-

schwanz z. B. alsdann die Sprengung von einigen ^{zm} nach der Länge hin immer unwirksamer ist, und da das in der Mitte der Kappe sich bildende Schlußquadrat sehr weit von den Stirnwänden des Gewölbes zu liegen kommt.

Werden die nach der Länge gewölbten Kappen (Fig. 58) bei RR breiter als $1^3/_4$—$2^1/_4{}^m$ und verhältnißmäßig lang, so ist es nothwendig, daß von $2^1/_2$ zu $2^1/_2{}^m$ Verstärkungsgurte eingewölbt werden, ganz ähnlich wie beim Tonnengewölbe Fig. 49—54, wo sie mit ss bezeichnet sind. Diese Verstärkungsgurte werden mit der Gewölbedicke 1 Stein stark und ebenso 1 Stein breit. Es ist aber immer besser, auf den Schwalbenschwanz einzuwölben; weil dann der Schub der Kappe zum größten Theil nach den Ecken geht und die Ecken (wie früher gezeigt wurde) die größte Widerstandsfähigkeit haben. Dabei ist es gut, wenn die Kappen höchstens $2^1/_2$mal so lang werden, als sie breit sind. Je mehr der Kappenraum sich dem Quadrate nähert, je kürzer er also wird, desto mehr nähern sich die Kappen in ihrem Verhalten den böhmischen Kappen und desto fester werden die Gewölbe.

Je schmäler die Kappen sind, um so weniger braucht man ihnen Steigung zu geben; sind sie 2^m breit, so ist $^1/_{12}$ genug, sind sie 2,2—$2{,}5^m$ breit, $^1/_8$, sind sie 2,8—3,5 breit, $^1/_6$. Breiter als 2,8—$3{,}5^m$ darf man die Kappen von $^1/_2$ Stein Stärke nicht machen, wenn man nicht gewärtigen will, daß sie einstürzen, wie dies öfters vorgekommen ist.

Will man eine größere Breite mit einem Kappengewölbe überspannen, so muß es 1 Stein stark werden. In dieser Art wurden im Berliner Museum Kappen von 5^m Breite ausgeführt, welche circa $^1/_8$ Steigung hatten.

Da die Kappengewölbe größtentheils bei Unterkellerung der Wohngebäude angewendet werden und diese ohnehin schon mehrere Stockwerke hohe Mauern haben, so ist eine besondere Verstärkung der Widerlagsmauern der Gurte und Gewölbe in der Regel nicht nöthig namentlich wenn man die Gurtbögen sowohl wie die Kappen nach Fig. 39 bis 43 anordnet. Bei Fabrikräumen, Kellern u. s. w., die der Feuersicherheit wegen überwölbt werden sollen, ersetzt man die Gurtbögen häufig durch eiserne T und I Balken oder auch Eisenbahnschienen bei geringeren Spannungen und wölbt zwischen diese die Kappen ein. Diese Balken erhalten mindestens 30^{zm} Auflager nach der Tiefe und kommen auf eine größere Sandstein- oder

Granitplatte zu liegen. Zu den Kappen kann man sich vortheilhaft der hohlen Steine bedienen.

Betrachten wir den Seitenschub, den ein Kappengewölbe (Fig. 35) ausübt, so ergiebt sich Folgendes: die Kappe RR schiebt nach der Mauer B hin, und nach dem Gurte, welcher zwischen den beiden Kappen gewölbt ist. Die Frontmauer ist nur den vierten Theil so stark als die lichte Breite des Gewölbes, da aber auf ihr wenigstens noch ein Stockwerk zu stehen kommt, so wirkt die Last desselben zugleich mit als Widerlager gegen den Schub der Kappe, und sie ist demnach hinlänglich stark.

Der Gurtbogen (Fig. 58) zwischen beiden Kappen hat zu seiner Stärke zwar nur den fünften Theil der lichten Kappenweite, er würde demnach, wenn keine Mauer weiter darauf stünde, nur ein schwaches Widerlager abgeben: allein da der Schub beider Kappen, wenn sie vollendet sind, ihn vollkommen im Gleichgewicht hält, so könnte er als bloße Mittelstütze allenfalls noch schwächer sein (vergl. § 3). Die Umfassungsmauer bei A, wenn sie auch keine äußere Hauptmauer wäre, würde doch bei gewöhnlicher Eintheilung vielleicht eine Mittelwand sein, und folglich noch über sich in einem oder mehreren Stockwerken wieder Mauern tragen, welche sie belasten oder als Widerlager hinlänglich stark machen, andernfalls würde man sie wenigstens durch vorgemauerte Widerlager verstärken. Es würde also nach dieser Richtung die Wölbung hinlänglich gesichert sein. Die Stirnmauern der Kappen gegen FD und EC hin haben bei dem Gewölbe RR gar keinen Schub der Kappengewölbe auszuhalten und können allenfalls, mit Ausnahme derjenigen Stücke, welche dem Gurtbogen als Widerlager dienen, gänzlich fehlen. Wölbt man hingegen auf den Schwalbenschwanz wie bei QQ, so wird ein, wenn auch kleiner Theil des Druckes auf die Stirnmauern übertragen (vergl. das § 12, 6 über schiefe Gewölbe Gesagte) und in diesem Fall dürfen sie nicht ganz fehlen, oder es müssen Gurtbögen an ihre Stellen treten.

Ueber die Gurtbögen ist zu bemerken, daß man dieselben nur als Widerlager für Kappen benutzt, aber nicht als Widerlager für die Anfänge anderer Gurte. Wo also dieser Fall eintreten könnte, muß immer ein Pfeiler angeordnet und so ein sicheres Widerlager hergestellt werden.

Bei quadratischen Räumen vertheilt sich der Schub auf die Widerlager gleichmäßig und die Kappen erhalten ihre größte Festig-

keit; wenn man also einen sehr langen und 2,5—3 m breiten Raum durch Kappen überspannen und nur die gewöhnliche Pfeilhöhe geben will, so ist es zweckmäßig, den Raum durch Gurtbögen in möglichst quadratische Felder zu theilen. Vergl. § 11.

Die Stellung der Gurtbögen Fig. 65 und Fig. 66 richtet sich nach den Seitenmauern der oberen Etagen. Sind A A Scheidemauern

Fig. 65.

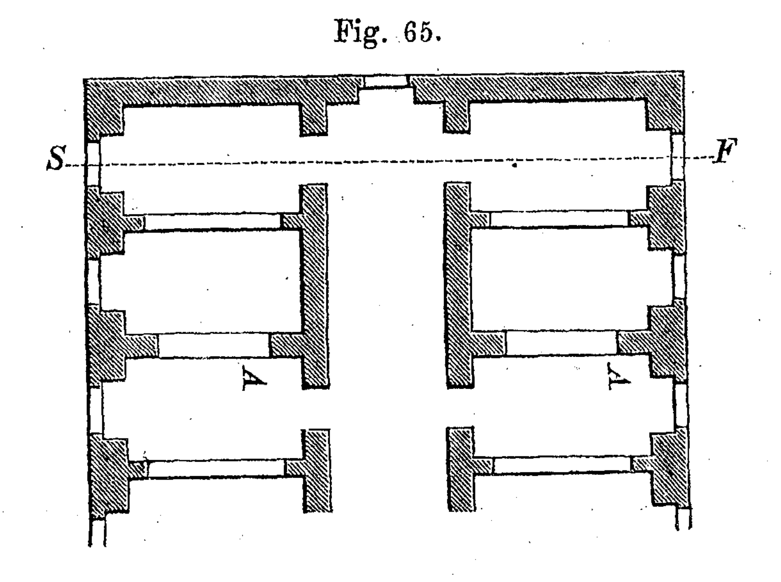
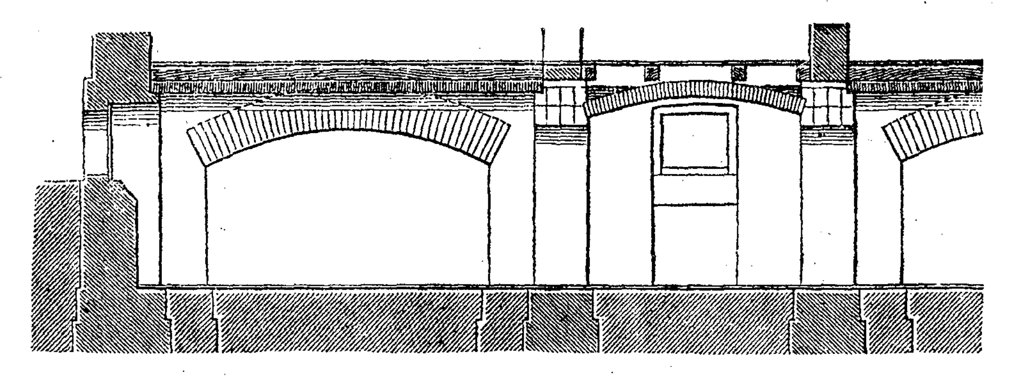


Fig. 66.

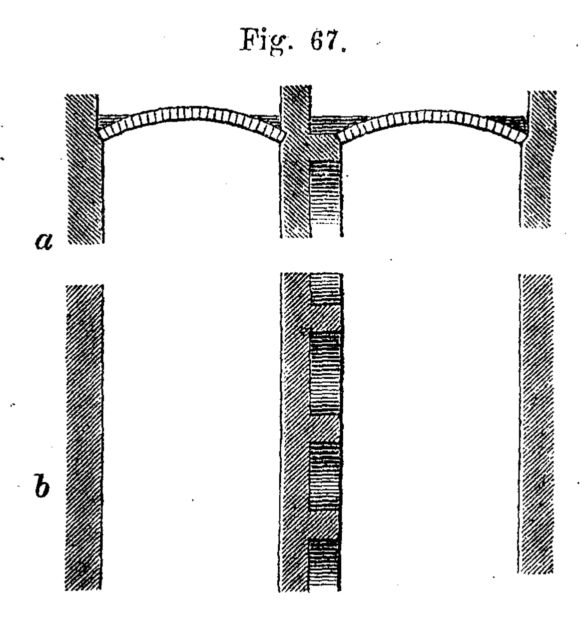


so muß die Anordnung der Gurtbögen mit Rücksicht auf deren Unterstützung geschehen, doch auch zur Aufnahme der Kappen geeignet sein. In Bezug auf gleiche Pfeilhöhe und den gleichartigen Seitenschub der Kappen muß man bei Eintheilung der Räume möglichst gleiche Spannweiten zu erzielen suchen. Ist dies nicht zu erreichen, so kann man, wenn die Unterschiede gering sind, nach Fig. 67 die Widerlagsmauern durch Bogen verstärken.

Die Gurtbögen werden, je nachdem sie nur als Widerlager dienen, oder auch Scheidemauern unterstützen, $1^1/_2$ bis 2 Stein breit und 2 bis $2^1/_2$ Stein hoch oder auch noch stärker gemacht.

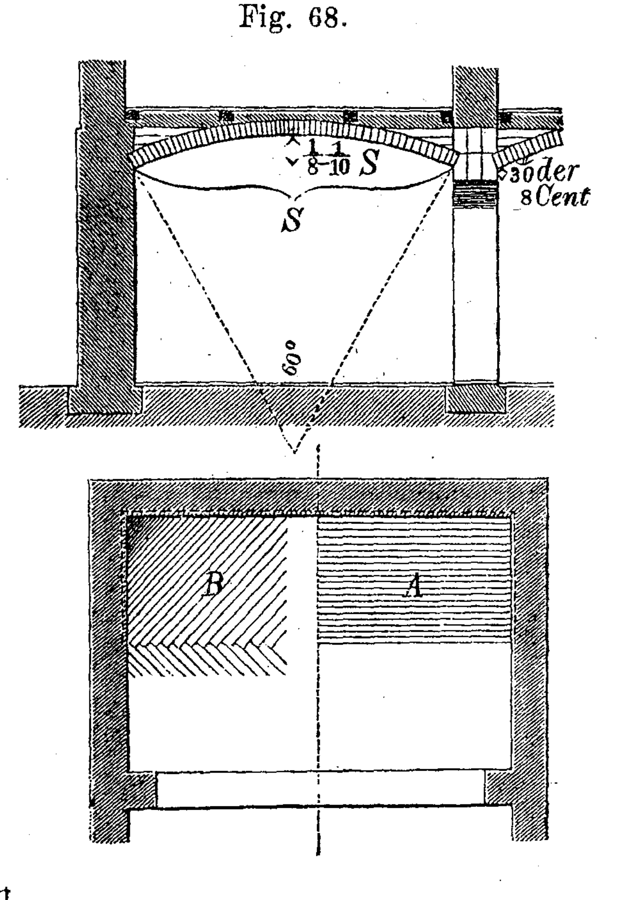
Die Form der Gurtbögen ist verschiedenartig, so kann ein Korbbogen, ein Halbkreis oder auch ein Stichbogen sein, welcher entweder $^1/_6$ bis $^1/_8$ oder $^1/_4$ der lichten Spannweite jeder Pfeilhöhe haben kann. Erstere Pfeilhöhe ist bei Gurtbögen, welche ausschließlich als Widerlager dienen, also keine Mauern tragen, anzuwenden.

Fig. 67.



Die Kappen erhalten nur $^1/_8$ bis $^1/_{10}$ ihrer Spannweite zur Pfeilhöhe und $^1/_2$ Stein zur Gewölbestärke; der Radius des Korbbogens entspricht ungefähr der ganzen Spanweite, so daß ein gleichseitiges Dreieck Fig. 68 entsteht. Die Kappe setzt sich an 8^{zm} gerechnet vom höchsten Punkte der inneren Leibung des Gurtbogens, gegen diesen; die Widerlagsfläche muß natürlich in centraler Richtung des Kappenucentrms sein.

Fig. 68.



Die Dimensionen der Kappengewölbe sind:

Die Pfeilhöhe, $^1/_8$ bis $^1/_{10}$ der Spannweite.

Die Schlußsteinstärke der Kappen, bis a. $3{,}73^m$ = $^1/_2$ Stein, bis 5^m = 1 Stein.

Die Widerlagsstärke der Kappen, $^1/_4$ bis $^1/_5$ der lichten Weite, weniger als $^1/_3$ Stein ist aber nicht anzurathen.

Die Schlußsteinhöhe der Gurtbögen richtet sich nach der Pfeilhöhe und deren Belastung durch Scheidemauern, bei $^1/_4$ der Spannweite zur Pfeilhöhe nimmt man: bis a. $7{,}90^m = 1 - 1^1/_2$

Stein. Bei größeren Spannweiten muß die Gewölbestärke an den Widerlagern verstärkt werden.

Die Breite der Gurtbögen richtet sich nach der Belastung durch Scheidemauern 2c., sie ist bei einer Entfernung von a 2,75 m = $1^1/_2$ bis 2 Stein.

Die Widerlagsstärke der Gurtbögen ist a $^1/_3$ bis $^1/_5$ der Spannweite, je nach der Anzahl der belastenden Etagen.

§ 9.

1) Das Kreuzkappengewölbe und die Kreuzkappe im regelmäßigen Raume (gewöhnlich Kreuzgewölbe genannt).

Die regelmäßige Kreuzkappe entsteht, wie wir bereits früher zeigten, wenn 2 Tonnengewölbe sich unter einem rechten Winkel schneiden (Fig. 69 — 71). Aus dieser Bedingung entsteht für die Grundriß-

Fig. 69.

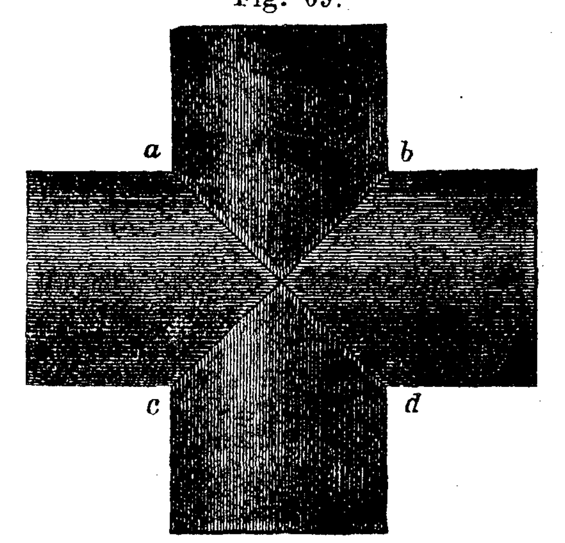


Fig. 70.

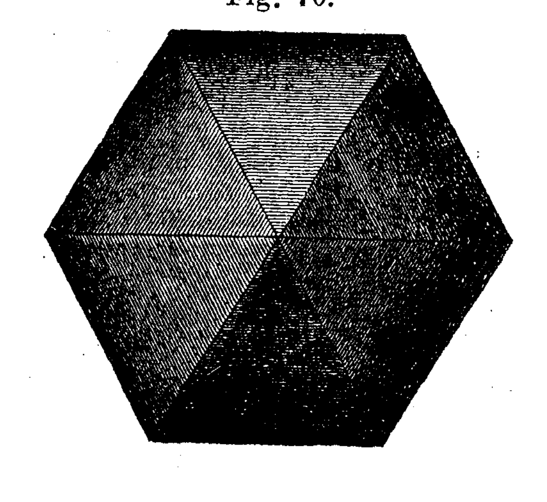
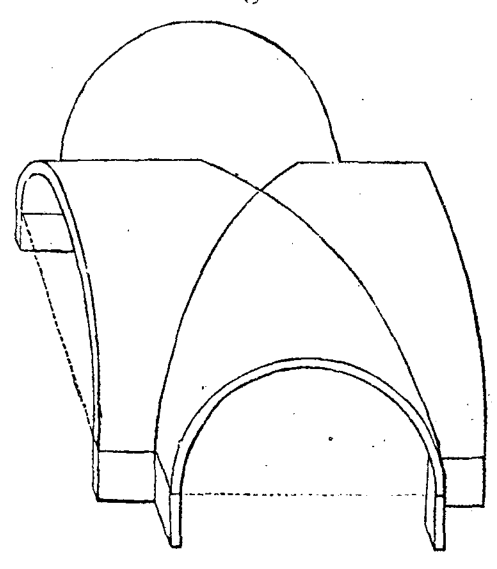


Fig. 71.



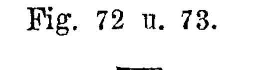
form der Kreuzkappe ein Quadrat, wenn die lichten Weiten der sich schneidenden Tonnengewölbe gleich groß wären.

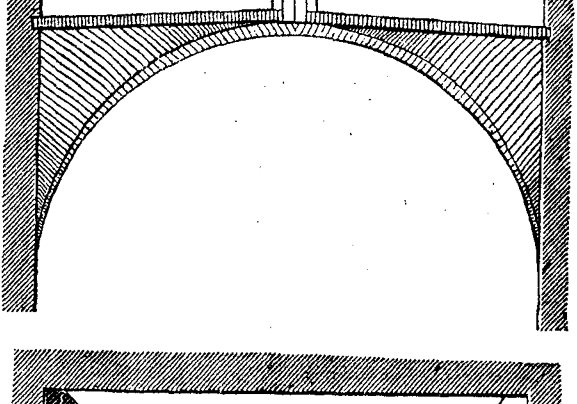
Die Kreuzgewölbe vereinigen in der Ausführung die Bequemlichkeit des Kappengewölbes mit der Festigkeit des Tonnengewölbes. Außerdem kann man sie über bedeutendere Weiten spannen als die Kappengewölbe, welches sie für die Anwendung noch geschickter macht. Sie sind außerdem feuersicher, und

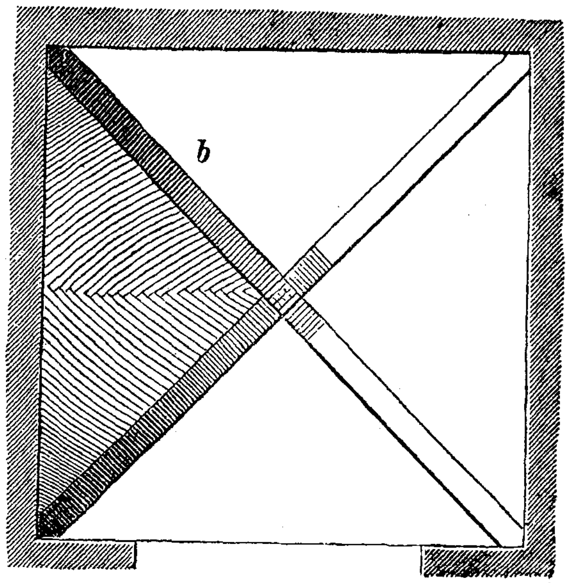
könen, in gehöriger Stärke angelegt, noch dazu große Lasten tragen, was sie zur Unterkellerung solcher Räume geschickt macht, wo diese Bedingung eintritt, wie z. B. unter Brauküchen oder zu Lagerbierkellern, wo 6^m und mehr hohe Erdschüttungen zu tragen sind.

Das Kreuzgewölbe besteht aus zwei Bogen, welche aus jeder Ecke nach der Diagonale des viereckigen Raumes bis zur gegenüberstehenden Ecke gespannt sind und sich in der Mitte des Raumes durchkreuzen. Zwischen diesen Hauptbogen, welche Grate (Gratbogen) heißen, sind die eigentlichen Gewölbe, die man Kappen, auch Kreuzkappen nennt, eingespannt, und indem sie auf den Graten ihre Widerlager haben, stoßen sie mit den Stirnenden an die Umfassungsmauern.

Da das Kreuzgewölbe sich ohne erhebliche Schwierigkeiten über rechteckige, quadratische, oder vieleckige Räume, von regelmäßiger und unregelmäßiger Form, spannen läßt, so findet es häufig Anwendung. Sein Hauptvortheil ruht in der Eigenschaft, daß man große Räume damit überdecken kann, ohne die ganze Ausdehnung der Umfassungsmauern dem Gewölbeschub auszusetzen. Durch die Durchdringungen entstehen Diagonalbögen resp. Rippen bei Fig. 72 und 73, welche als Widerlager der Kappen behandelt werden. Diese Bogen übertragen den aufgenommenen Kappenschub in diagonaler Richtung auf Widerlagspunkte resp. Widerlagspfeiler. Die Scheitellinien der Kreuzkappen sind nicht horizontal, sondern erhalten, damit durch starkes Setzen das Gewölbe nicht einstürzen kann, nach dem Scheitelpunkte hin eine Stechung, welche a 1/40 der ganzen Diagonale des Raumes beträgt. Die verschiedenen Formen der Stechung zeigen Fig. 74 bis 77

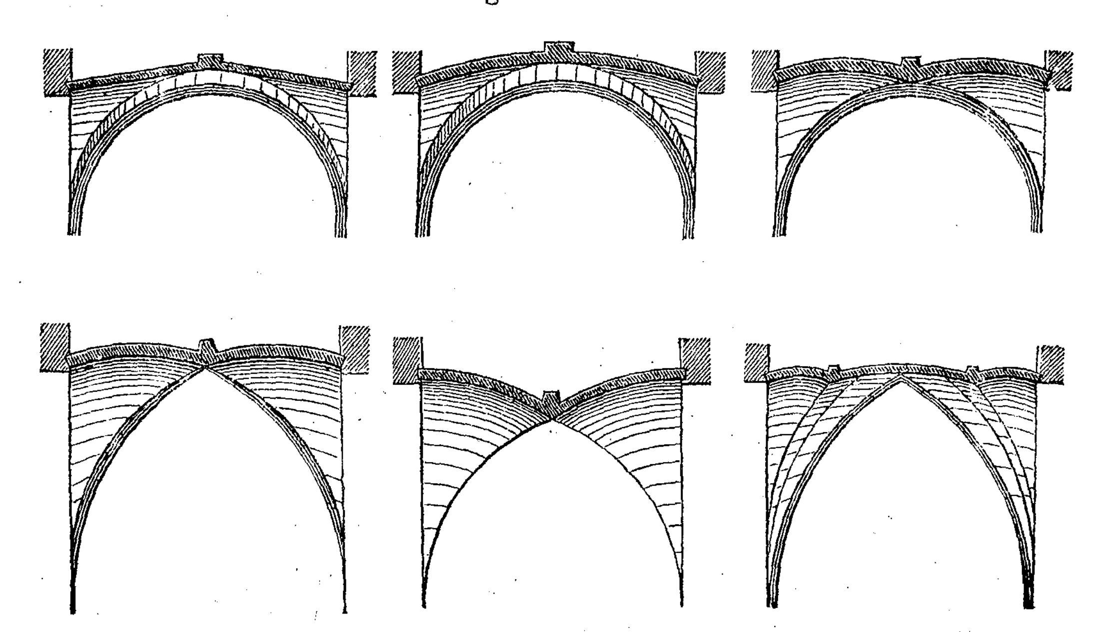

Fig. 72 u. 73.





Man sieht, daß diese Anwendung nicht blos im Quadrate, sonder auch im länglich viereckigen Raume möglich ist. Wird jedoch da Rechteck zu lang im Verhältniß zu seiner Breite, so stellen sich Unbe quemlichkeiten ein, welche nur schwer zu überwinden sind, und ma wird sehr wohl thun, ein rundbogiges Kreuzgewölbe nie länger al

Fig. 74 — 77.

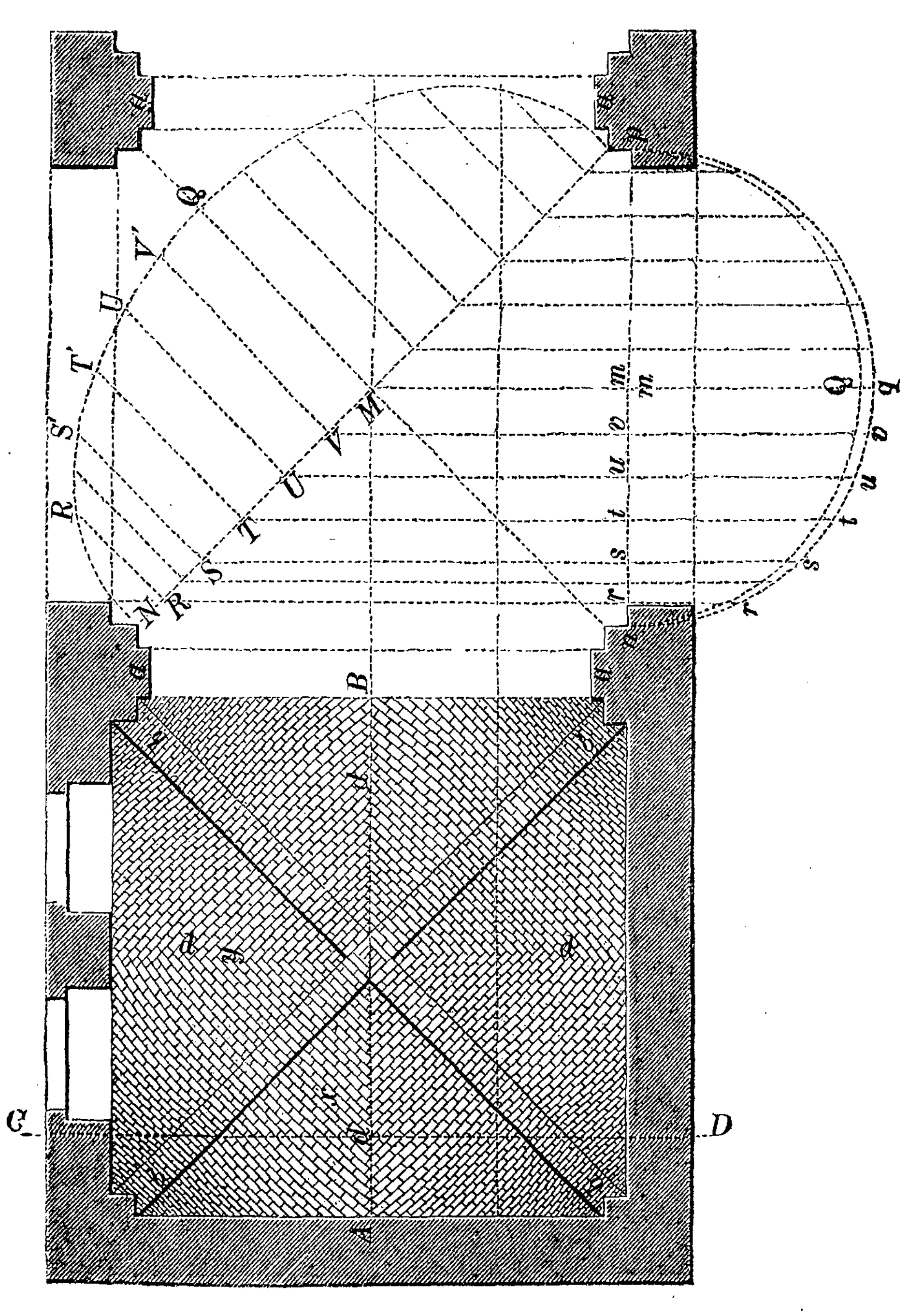


die eineinhalbmalige Breite zu machen. Beträgt die Länge und Breite eines Raumes **nicht über** 5^m, so kann man denselben mit einem Kreuzkappengewölbe überdecken, wobei die Grate Fig. 78 bb einen Stein, die Kappen dddd aber nur einen halben Stein stark werden. Indessen werden auch wohl größere Räume mit solchen Gewölben überdeckt, alsdann müssen die Grate $1^1/_2$ Stein, die Kappen aber 1 Stein stark werden. Auch erfordern solche starke Gewölbe stärkere Widerlager, welche bei gewöhnlichen Kreuzgewölben ohngefähr zu $^1/_4$ der Spannweite anzunehmen sind. Ist der zu überwölbende Raum beträchtlich groß, wie z. B. in Fig. 79, so werden in der Mitte ein oder mehrere Pfeiler ss aufgemauert, und durch die Gurtbogen tt 2c. kleinere Räume abgetheilt, die dann jeder für sich durch Kreuzkappengewölbe überdeckt werden.

Die Gratbogen entspringen entweder unmittelbar aus den Ecken der Mauer, wie in Fig. 79 die punktirten Diagonallinien anzeigen, oder man legt, wie in Fig. 78, in den Ecken Vorsprünge an, auf welche die Gurte aufgesattelt werden. Fig. 78 zeigt die obere Ansicht eines Kreuzkappengewölbes, über einen Raum von 5^m Tiefe, dessen größere Länge durch die Gurtbogen aa in kleinere Räume

abgetheilt ist, wovon jeder ein eigenes Kreuzkappengewölbe erhält. In dem fertigen Gewölbe sind b b die Gratbogen; d d d d sind die

Fig. 78.



Kreuzkappen. Fig. 80 ist der Durchschnitt durch die Mitte des Gewölbes, nach der Linie AB des Grundrisses. In dieser Fig. ist d c der Durchschnitt einer Kappe, welche von der Stirnmauer nach dem Scheitel zu etwas ansteigt, so daß der Punkt c etwas höher liegt als d. Man nennt dieses Aufsteigen der Kappe das **Stechen** derselben. Es beträgt dieses Stechen gewöhnlich den **sechzigsten** Theil

der Länge des Grates; indessen kann man die Kappen auch wohl mehr stechen lassen, nur nicht weniger.

Fig. 79.

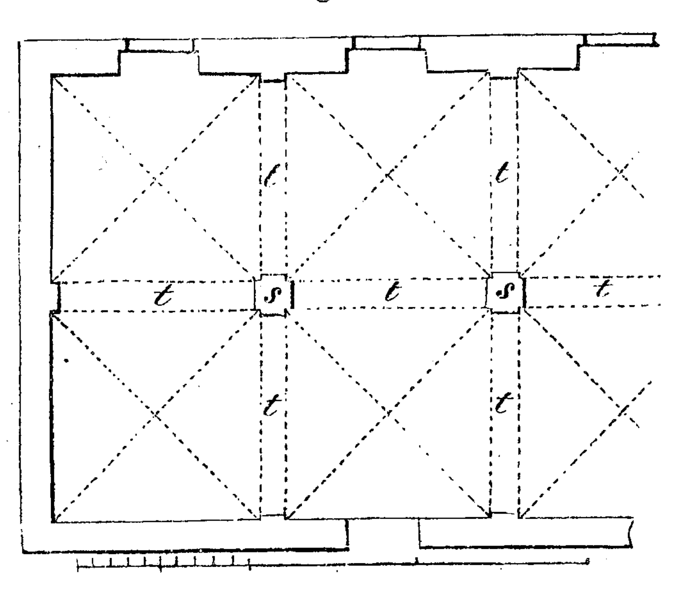


Fig. 80.

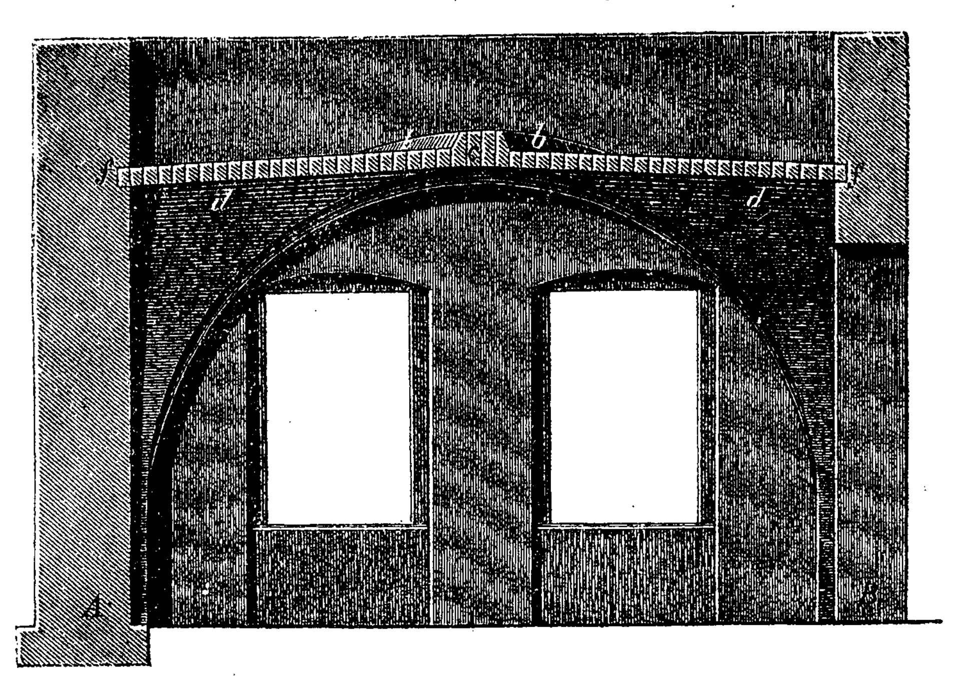


Fig. 81 zeigt den Durchschnitt durch einen tieferen Punkt des Gewölbes (als die Mitte war), nach der Linie CD des Grundrisses. Dieselben Gegenstände sind hier mit denselben Buchstaben bezeichnet.

Fig. 82 A und B zeigt die Verbindung der Kappen mit den Gratbogen in größerem Maßstabe und zwar im Grundrisse nach der Richtung von x nach y des Grundrisses.

Die Lehrbogen werden, wie bei den Kappengewölben angegeben wurde, aus doppelt zusammengenagelten starken Brettern angefertigt. Wird zuerst festgesetzt, daß die Kappen zu einem vollen Halbkreise gewölbt sein sollen, so pflegt man die Lehrbogen für die Grate folgendermaßen vorzureißen.

Fig. 81.

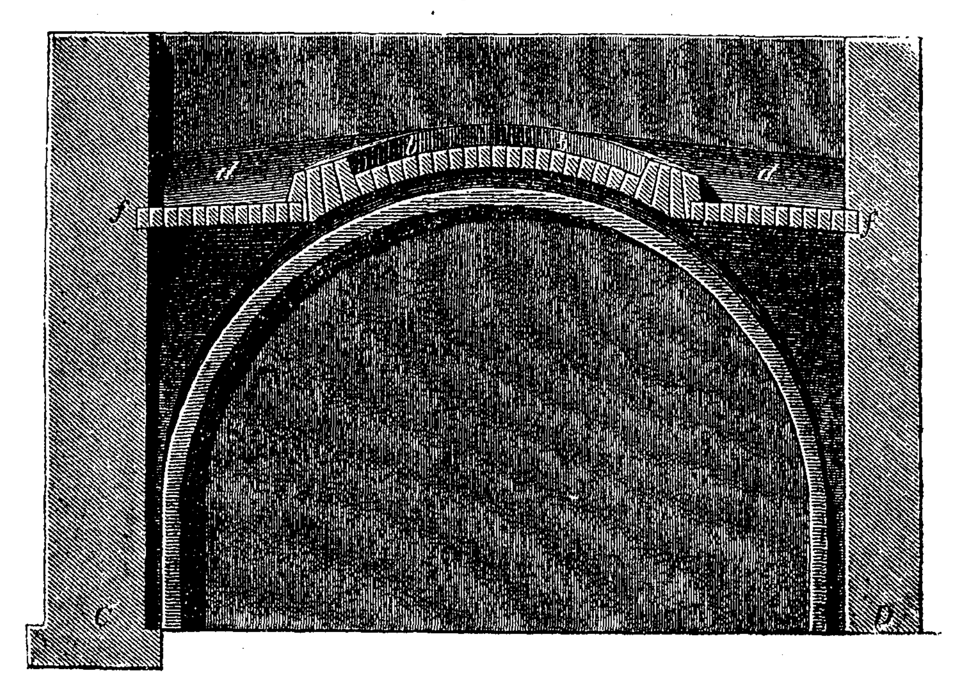
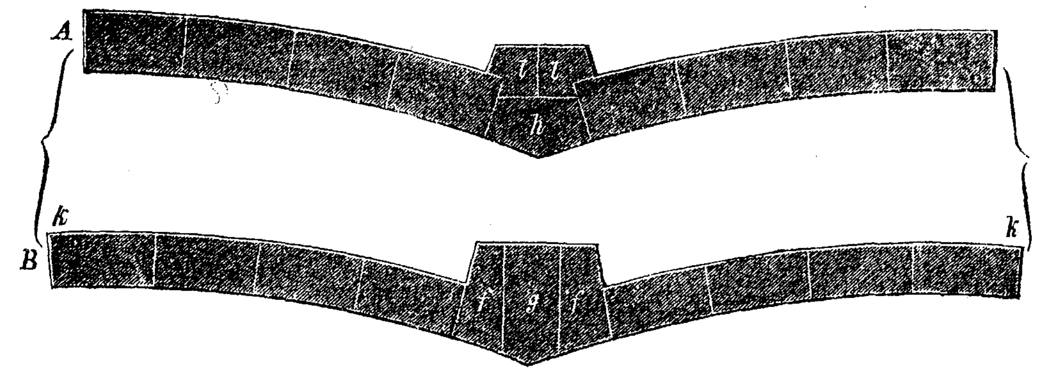


Fig. 82.



Ist in Fig. 78 der Halbkreis nQp die innere Wölblinie der Kappe (vergl. Fig. 22 und 23) an der Stirnmauer, so mache man mm gleich der Stechung der Kappe, beschreibe aus m den überhöhten Halbkreis nqp und theile die Länge nq in beliebig viel gleiche Theile. Aus den Theilpunkten ziehe man rechtwinklig (normal) auf np die Linien rr ss tt uu vv ꝛc., bis zum Umkreise nqp. In eben so viel gleiche Theile wird nun auch die Länge des Grates Np eingetheilt, und in den Theilungspunkten die auf Np lothrechten Linien

RR' SS' TT' UU' VV' MQ ꝛc. errichtet, welche man eben so lang macht, als die zuerst genannten übereinstimmenden Lothrechten rr ss ꝛc. Durch die auf solche Weise gefundenen Punkte R'S'T'U'V'Q bis p ziehe man eine stetige krumme Linie aus freier Hand, so entsteht eine halbe Ellipse, welche die innere Wölblinie des Gratbogens bestimmt.

Jeder Gurtbogen, gegen den 2. Kreuzgewölbe stoßen, erhält 2 Lehrbogen. Von den Lehrbogen für die Grate eines regelmäßigen Kreuzkappengewölbes wird einer in der Mitte durchschnitten, der andere aber bleibt ganz. Letzterer wird durch einen in der Mitte des Vierecks aufgestellten Stiel (den Mönch) unterstützt, und die beiden Hälften des andern lehnen sich von beiden Seiten gegen den ersteren, und werden ebenfalls von dem Mönch getragen.

Soll der Grat einen Stein stark sein, so müssen zuerst 3 Steine tf und g Figur 82 zugehauen, und auf die Lehrbogen gesetzt, die Kappen fk fk aber aus freier Hand, vom Gratbogen an bis an die Wand eingewölbt werden. Hinter dieser ersten Schicht folgt die zweite llh, deren Fugen mit den ersten wechseln. Die Steine ll und h müssen, wie sie gezeichnet sind, besonders zugehauen werden, und so wird mit der Abwechslung der Gewölbschichten fortgefahren, bis die Gratbogen fertig und die Kappen auf den Schwalbenschwanz dazwischen eingewölbt sind.

Die Lage der Steinschichten in den Kappen wird aus der Zeichnung Fig. 77 deutlich. In jeder Ecke unterhalb fängt der Maurer die Kappen an; je weiter die Schichten sich dem Scheitel nähern, desto mehr Steine erhalten sie, bis man sie in der Scheitellinie des Gewölbes selbst schwalbenschwanzförmig zusammenwölbt. Außerdem werden die einzelnen Kappenschichten, um ihnen mehr Spannung und folglich mehr Haltbarkeit zu geben, in sanften Bogen geschweift angelegt, wie Fig. 78 zeigt.

Anstatt die Anfänge der Grate, Gurte und Kappen in der beschriebenen Weise herzustellen, ist es zweckmäßiger, horizontal nach den Bogenlinien zu überkragen und erst dann die schrägen Widerlager anzuhauen, sobald man dahin gelangt ist, daß die Grate und Gurtbögen möglichst in ihrer vollen Stärke angelegt werden können.

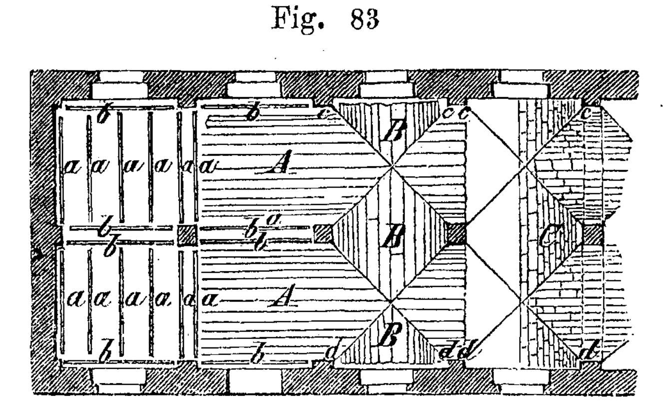
Ferner läßt man die Kappen nicht stumpf an die Stirnmauern stoßen, sondern dieselben werden in die Stirnmauern, wie bei ff Fig. 80 und 81 gezeigt ist, eingebunden, weshalb man nach der Bogenlinie der Kappe vertiefte Streifen ff einhauen muß, die etwa

13^zm tief und so hoch werden wie die Kappe, also gewöhnlich $^1/_2$ Stein hoch. Die Gurtbogen a a Fig. 78 läßt man nach unten gern um 8^zm vor der Kreuzkappe vorspringen; von da ab haut man gleich beim Wölben die Steine schräg zu, so daß die Kappen ebenfalls ein schräges Auflager am Gurtbogen erhalten, ganz ebenso wie beim gewöhnlichen Kappengewölbe Fig. 59.

Nur geübte Maurer können Kreuzkappen aus freier Hand e n-wölben, ohne sogenannte Säcke in die Kappen zu bekommen: ungeübte thun besser, das ganze Gewölbe vollständig zu verschalen (besonders wenn es nachträglich geputzt werden soll).

Das Verfahren dabei ist in Kürze folgendes: es werden zunächst unter jeden Gurtbogen, Fig. 83, gegen den zwei Kappen stoßen, zwei Lehrbogen a a und b b und außerdem alle $^3/_4$ bis 1^m eben solche Lehrbogen aaa gestellt. Hierauf werden sämmtliche Lehrbogen a a verschalt, so daß eine Verschalung wie für zwei nebeneinander laufende Tonnengewölbe A A entsteht. Alsdann zieht man wagerecht über den Scheitel der Schalung A A Schnuren c d, so daß ein Punkt lothrecht über c, ein anderer Punkt der Schnur lothrecht über d trifft. Von diesen Schnuren lothet man an mehreren Stellen herunter auf die Schalung A A, legt an die erhaltenen Punkte einen biegsamen Stab und zieht mit Bleistift oder Schiefer die Gratlinie c d. Jetzt werden die Kappen B B nach und nach (so wie die Arbeit vorschreitet) eingeschalt; die Schalbretter B liegen auf den Lehrbogen b b auf, und auf den Schalbrettern A, sie müssen nach der Gratlinie c d schräg gesägt und außerdem, soweit sie auf den Schalbrettern A aufliegen, schräg abgefaset werden (was mit dem Beil geschieht, damit scharfe Gratlinien entstehen). Wird die Länge der oberen drei oder vier Schalbretter B so groß, daß sie sich durch die Last der Wölbesteine durchbiegen würden, so unterstützt man sie durch Stiele oder Lehrbogen, die parallel zu den Bogen b b gestellt werden.

Fig. 83



Ein anderes Verfahren besteht darin, daß man 2 Gratbogen und 4 Bogen für die Widerlager aufstellt und einschalt, wobei sämmtliche Schalbretter auf den Gratbögen zusammenstoßen. Damit die

Schalbretter oder Latten nicht durchbiegen, werden für jede Kappe und zwar parallel zu den 4 Bogen an den Widerlagern kleinere Zwischenbogen aufgestellt, die an die Gratbogen stoßen.

Es ist gut, wenn man auf den Kopf des Pfeilers einen Schnittbogen e Fig. 84 legen kann; sonst mauert man ebenso wie die folgenden Schichten etwa bis f mit horizontalen Lagerfugen und überkragt sie nach der Bogenlinie. Hat man eine solche Stärke erlangt

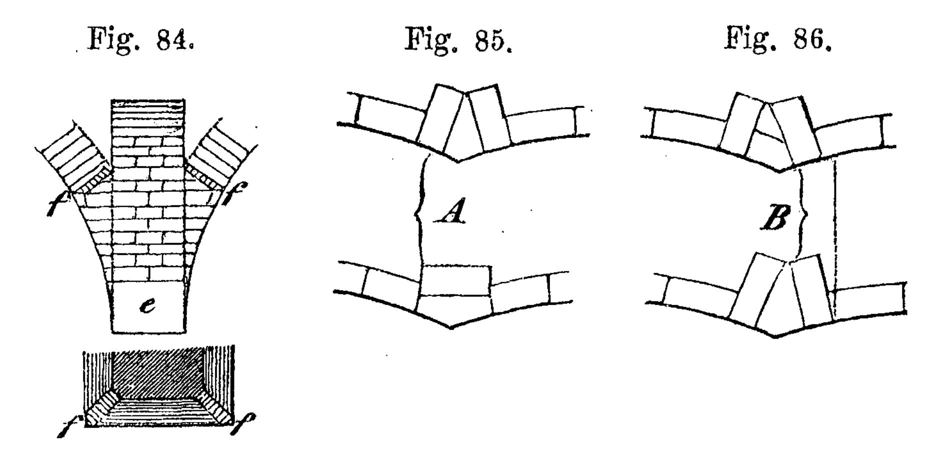


Fig. 84. Fig. 85. Fig. 86.

daß die Grat- oder Gurtbogen in ihrer vollen Stärke angelegt werden können, so wird, wie aus dem Grundriß bei ff ersichtlich ist, das Widerlager für die Kappen und Gurte, sowie für die Grate, nach der Fugenrichtung des Gewölbes angelegt. Jeder Grat wird bei f mit einem Strecker begonnen, der so gehauen wird, daß er gut an die Schalung anschließt; in der folgenden Schicht kommt an den Grat ein Läufer zu liegen, in der nächsten drei Köpfe, überhaupt ist die Lage der Steinschichten für die Grate und Kappen, wie beim Wölben aus freier Hand (Fig. 84) oder wie Fig. 85, 86 und 87—91.

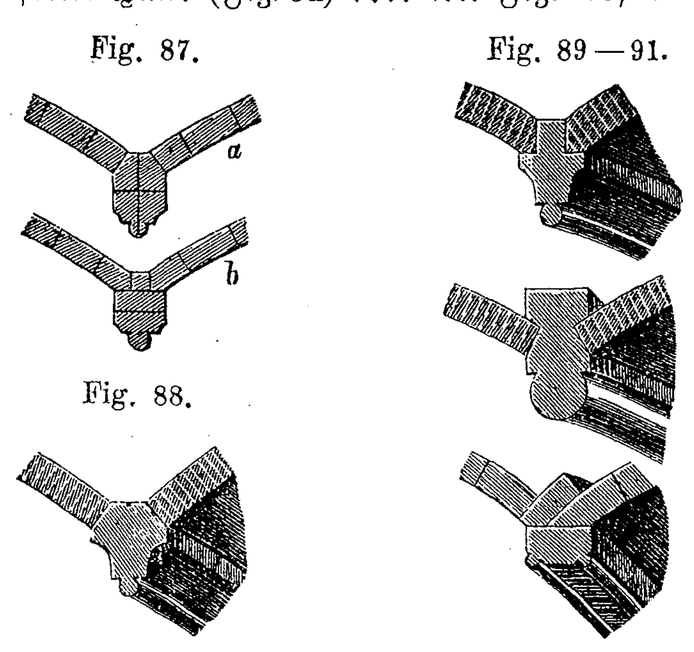


Fig. 87. Fig. 88. Fig. 89—91.

Auch aus regelmäßigen und selbst unregelmäßigen Bruchsteinen (Sandstein und Schiefer) führt man Kreuzgewölbe auf Schalung ganz in derselben Weise aus, wie es für das Wölben mit Ziegeln eben beschrieben worden ist. An einigen Orten wenden die Maurer die früher übliche Weise zu wölben an, welche aus Fig. 85 bei G ersichtlich wird. Die untersten Schichten werden, wie vorhin bei Fig. 84 erläutert wurde, durch Ueberkragung gebildet. Dann wird das Widerlager für die Gurte und Kappen angelegt und nur nicht aus dem Winkel gewölbt, sondern wie bei dem Tonnengewölbe. Am Grat, der hier nicht stärker als die Kappe wird, läßt man abwechselnd die Schicht der einen und dann die der andern Kappe übergreifen, wobei die Steine am Grat etwas gehauen werden müssen, so daß sie sich gleichzeitig den Schalungen beider Kappen A und B Fig. 85 und 86 anschmiegen. Obwohl dies Verfahren etwas einfacher ist, als das vorher beschriebene, so wird der Grat doch zu schwach, namentlich, wenn man die Gewölbe aus Ziegeln fertigt, und man wird daher größere Ziegelgewölbe nie in dieser Weise ausführen.

Will man die Richtungen des Seitenschubes beurtheilen, welchen ein Kreuzgewölbe (Fig. 78—82) ausüben wird, so darf man sich nur daran erinnern, daß es aus zwei sich schneidenden Tonnengewölben entstanden ist. Das Tonnengewölbe übt seinen Seitenschub nach den Mauern hin, worauf das Gewölbe ruht. Die Kappen ruhen hier hauptsächlich auf den Gratgurten, folglich müssen diese den Seitenschub der Kappen aufnehmen; da aber dieser Schub auf die Grate im Gleichgewicht ist, weil er immer von zwei Kappen auf einen Grat ausgeübt wird, so frägt es sich blos noch, wohin die Grate ihren Schub ausüben. Diese aber sind wie zwei Gurtbogen zu betrachten, welche die größte Last des Gewölbes tragen. Der Schub des Ganzen geht also wesentlich nach den diagonalen Richtungslinien der Grate, und wenn man sich an den Endpunkten dieser vier Grate vier Pfeiler als Widerlager denkt, so werden diese den meisten Seitenschub auszuhalten haben. Die senkrechten Schild- oder Stirnmauern dagegen haben wenig Seitenschub auszuhalten und können, wenn sie sonst keinen Zweck haben, viel schwächer sein.

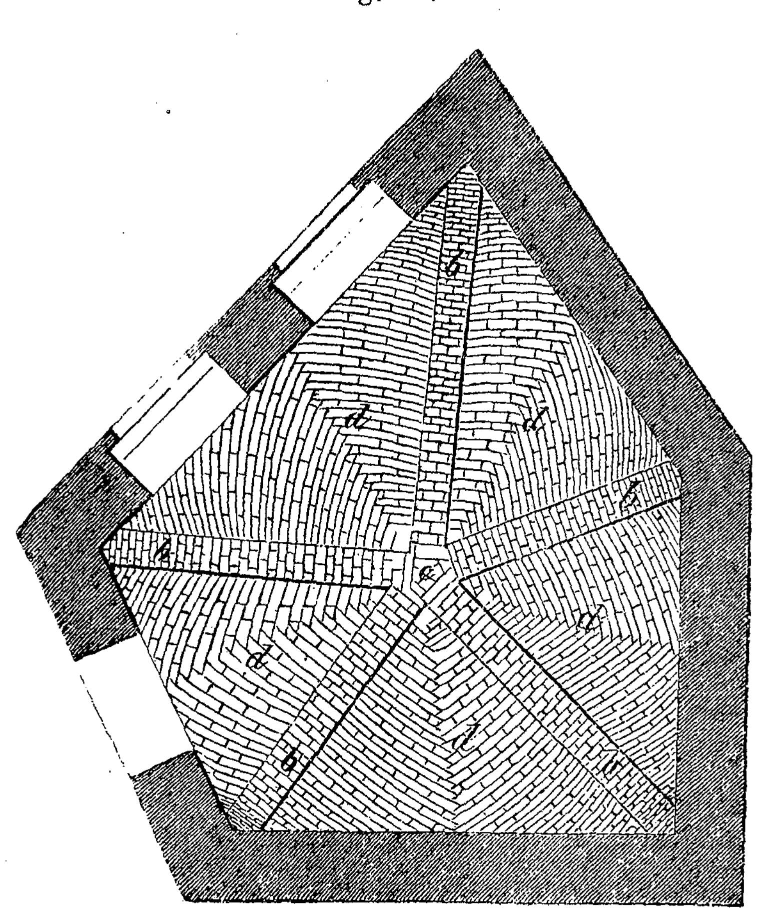
Hieraus ergiebt sich für die Kreuzkappe eine sehr große Ersparung an Material, gegen das Tonnengewöllle gehalten. Denn wenn das letztere in gleicher Stärke fortlaufende Widerlager erfordert, so bedarf das erstere dafür nur einzelner stärkerer Pfeiler. Will man die Stärke dieser Widerlagspfeiler bestimmen, so suche man sie zu der elliptischen

Linie, welche der Gratbogen beschreibt, nach einer der in § 3 erwähnten Methoden. Bei gewöhnlichen Abmessungen wird es genügen, wenn man $^1/_5$ der lichten Halbkreisweite, oder eben soviel in der Diagonale nimmt, da dergleichen Unterkellerungen in der Regel noch Mauern über sich haben, welche als Widerlager mitwirken, und außerdem kann man dasselbe durch Ueberkragung wesentlich verstärken. Wird der ganze Raum kein Quadrat, sondern ein Rechteck, so darf es nicht zu länglich werden, weil sonst die Bogen der langen Seiten und namentlich die Bogen der Grate, zu sehr gedrückt werden und folglich keine Haltbarkeit bekommen. Man thut alsdann besser, den Raum durch Zwischengurte zu theilen, die ihr Widerlager entweder auf einer Mauer oder auf Pfeilern erhalten.

2) Die Kreuzkappe im unregelmäßigen Raume.

In Fig. 92 sieht man einen solchen unregelmäßigen Raum eingewölbt. Die auf den Schwalbenschwanz eingelegten Kappen d lehnen sich an die Gratbogen b b und diese wieder gegen die Umfassungsmauern. In dem Punkte C vereinigen sich alle Grate. Der Schub

Fig. 92.

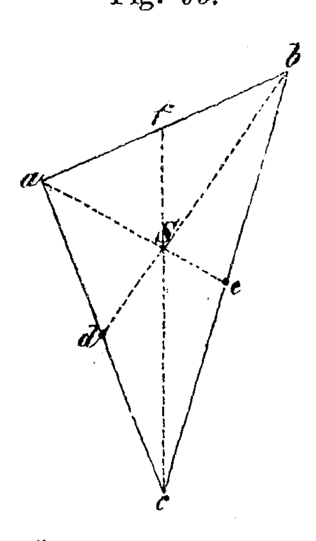


der Grate geht nach ihren verschiedenen Richtungen, und damit alles im Gleichgewichte sei, ist es nothwendig, daß der Punkt C zugleich der Schwerpunkt des ganzen unregelmäßigen Gewölbes sei, weil sich alsdann die ganze Last desselben gleichmäßig auf die Widerlagspunkte der Gratbogen vertheilt.

Um den Schwerpunkt des ganzen Gewölbesystems mit Uebermauerung u. s. w. mathematisch genau zu bestimmen, wären für jedes Material, jeden Mörtel u. s. w. höchst weitläufige Rechnungen nothwendig. Es genügt für die Praxis den Schwerpunkt der Grundrißfigur zu bestimmen und diesen als Scheitelpunkt des Kreuzgewölbes anzunehmen, wobei natürlich immer zu erwarten steht, daß der Schwerpunkt des fertigen Gewölbekörpers nicht genau senkrecht über dem der Grundrißform und dem Scheitelpunkte zu liegen kommen wird, was aber für die Praxis keine Bedeutung hat.

Um nun den Schwerpunkt der Grundrißfigur auf eine bequeme Art durch Zeichnung finden zu können, verfahre man in folgender Weise. (Fig. 93.) Es wäre das Dreieck abc gegeben, man soll in ihm den Schwerpunkt S finden. Man halbire alle Seiten des Dreiecks und ziehe von den Halbirungspunkten gerade Linien nach den gegenüberstehenden Winkeln des Dreiecks. (Will man sich hiervon durch den Augenschein überzeugen, so ziehe man sich diese Linien auf einen Triangel von Holz oder Pappe, suche den Schwerpunkt S, lege das Dreieck mit dem Punkte S genau auf einen spitzen Stab 2c., so wird man es in dieser Lage balanciren können, welches nicht möglich sein würde, wenn S nicht der Schwerpunkt wäre.

Fig. 93.



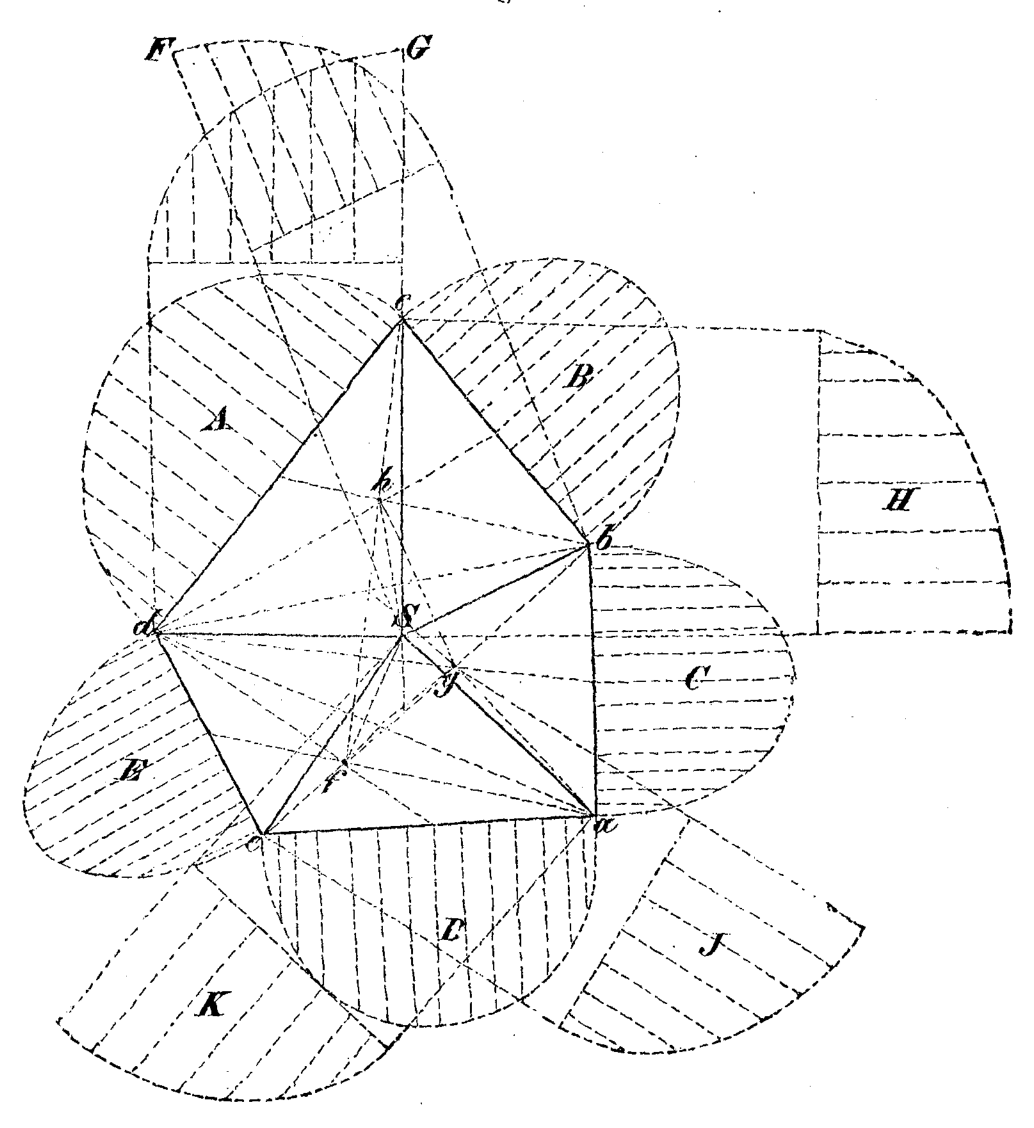
Ist man aber im Stande den Schwerpunkt eines Dreiecks zu finden, so kann man auch den Schwerpunkt einer jeden unregelmäßigen Figur finden, da man jede solche Figur in Dreiecke zerlegen kann, wie wir gleich sehen werden.

In Fig. 94 ist die Form des unregelmäßigen Gewölbes in kleinerem Maßstab, als in Fig. 92 vorgestellt.

Denkt man sich in Fig. 94 die Linien ad und bd gezogen, so erhält man die Dreicke aed, adb, bdc, sucht man nach dem Vorigen für jedes dieser Dreiecke den zugehörigen Schwerpunkt, so findet man nach und nach die Schwerpunkte fgh. Verbindet man diese drei

Punkte durch gerade Linien, so erhält man das Dreieck fgh und der Gesammtschwerpunkt der ganzen Figur muß nun innerhalb dieses Dreiecks liegen und der Schwerpunkt des Dreiecks selbst sein. Man suche nun ebenso wie vorhin Fig. 93 den Schwerpunkt S des Dreiecks





fgh, so ist S derjenige Punkt, über welchem der Scheitelpunkt des unregelmäßigen Gewölbes liegen muß, weil S der Schwerpunkt der Figur abcde ist.

Ein anderes einfaches Verfahren, den Schwerpunkt jeder beliebigen Figur, z. B. des Fünfecks abcde zu finden, besteht darin, daß man die Figur in ziemlich großem Maßstab auf gleichmäßig starkes Papier (Kartenpapier, Pappdeckel) zeichnet und ausschneidet. Hierauf zieht man unterhalb des Punktes c einen ganz feinen Seidenfaden durch, hängt die Figur daran auf und zieht von dem Aufhängepunkte mit

Bleistift eine lothrechte Linie nach unten; alsdann nimmt man den Faden ab und hängt die Figur an irgend einem andern Endpunkte auf und zieht von diesem Aufhängepunkte ebenfalls eine lothrechte Linie, so ist der Schnittpunkt dieser beiden Linien der Schwerpunkt der Figur, dieselbe mag viel oder wenig Seiten haben.

Die Höhe der Bogen wird man am leichtesten bestimmen, wenn man die längste Seite der Figur, hier dc, als Durchmesser des Halbkreises betrachtet, wonach man den ersten Lehrbogen fertigt. Die andern kleineren Seiten der Figur erhalten alsdann alle überhöhte Lehrbogen und man ist zugleich gesichert, daß die Lehrbogen der Gratbogen nicht zu flach ausfallen.

Ist der Lehrbogen A bestimmt, so verwandle man ihn für die Linie bc in den Bogen B; für die Linie ab in den Bogen C; für die Linie ae in den Bogen D und für die Linie ed in den Bogen E. Für den Gratbogen dS gilt ebenso der Lehrbogen bei G; für den Gratbogen cS der Lehrbogen H; für den Gratbogen bS der Lehrbogen bei F; für den Gratbogen aS der Lehrbogen K und für den Gratbogen eS der Lehrbogen bei I.

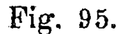
Es läßt sich übersehen, daß man bei Aufzeichnung der Figur abcde, nach einem hinlänglich großen Maßstabe auf dem Papiere, den Punkt S für die Ausführung hinlänglich genau finden kann. Was die Bestimmung der Lehrbogen betrifft, so thut man am besten, sie gleich auf die zusammengeschlagenen Bogen in natürlicher Größe aufzutragen, wie früher gezeigt wurde.

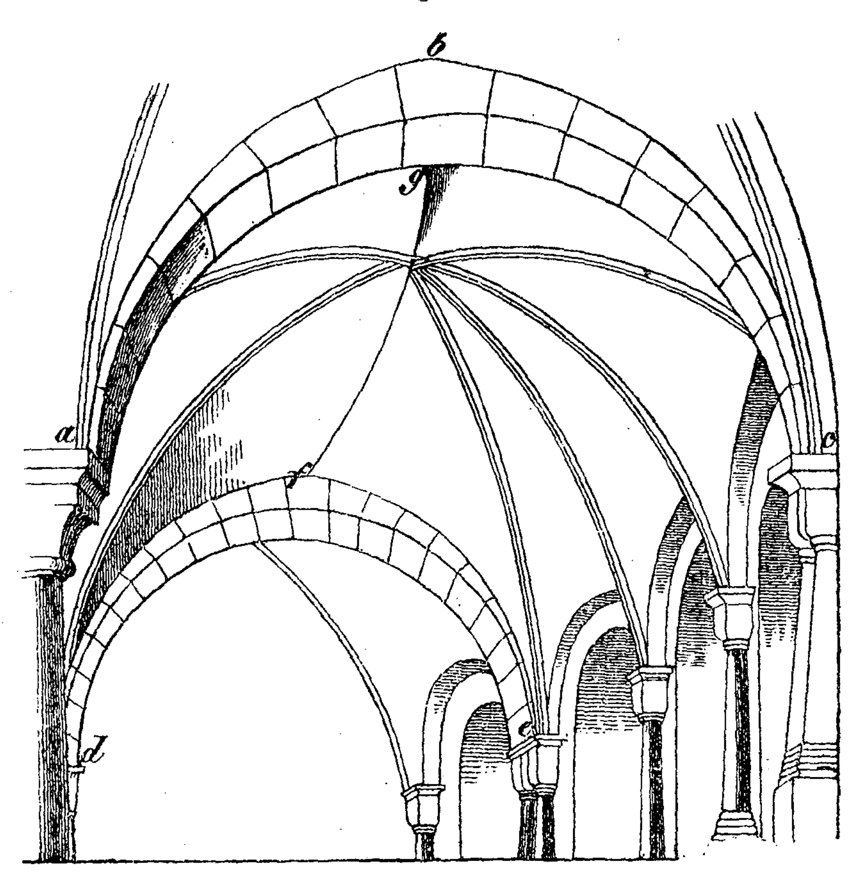
Die Kappen d Fig. 92 läßt man auch hier nicht stumpf an die Stirnmauern stoßen, sondern sie werden in dieselben eingebunden, wie dies bei Fig. 80 und 81 bei f zu sehen ist. Dazu werden nach der Bogenlinie der Kappe vertiefte Steifen f, etwa 13^{zm} tief und so hoch als die Kappe wird, eingehauen. Ebenso muß, wenn das Gewölbe sich fortsetzt und Gurtbogen nöthig werden, das schräge Auflager für die Kappen gleich beim Wölben der Gurtbogen angelegt werden, wie dies unter 1) dieses Paragraphen bemerkt wurde.

Was die Bestimmung der Widerlagsstärke bei einen unregelmäßigen Kreuzgewölbe betrifft, so hängt dieselbe von der Länge der Grate ab, wobei man keinen Fehler begehen wird, wenn man z. B. in Fig. 95 den Grat cS und eS als eine stetige Linie betrachtet, und für die Länge cS+eS die Widerlagsstärke sucht.

Wollte man ganz genau verfahren, so müßte man jeden der Grate als einen halben Gurtbogen betrachten, und für dessen ganze Länge

die Widerlagsstärke suchen, woraus sich aber bei der Verschiedenheit aller Gratlängen auch eben so viele verschiedene Widerlagsstärken ergeben würden. Man wird also keinen Fehler begehen, wenn man sämmtliche Widerlagspfeiler nach der größten Entfernung bestimmt. Die sämmtlichen Gratlehrbogen in Fig. 54 und 55 sind nur halbe Bogen; bei der Aufstellung müssen sie also, wo sie zusammentreffen, durch einen senkrechten Ständer, einen sogenannten Mönch, unterstützt werden. Des Halbkreises als Bogensystem bediente man sich schon in früheren Jahrhunderten vielfach bei Kreuzkappengewölben. Die Gratbogen sind gewöhnlich aus größeren behauenen, profilirten Steinen oder Ziegeln hergestellt und springen etwas vor. Der Anschaulichkeit wegen haben wir Fig. 95 eine perspective Zeichnung gegeben, worin


Fig. 95.



abc den vordersten Gurtbogen, dfe den ihm entgegenstehenden bezeichnet; g ist der Scheitelpunkt des Gewölbes, dfga ist eine der großen Kappen, wogegen auf der Seite egc die Hauptkappe in mehrere Fensterstichkappen gespaltet ist. Man bemerkt zugleich bei b, daß man den Kappen, um ihnen mehr Festigkeit zu sichern, einen bedeutenden Stich gegeben hat, so zwar, daß man den Halbkreis in

einen sehr flachen Spitzbogen verwandelte, wodurch man namentlich für die sonst flach werdenden Gratbogen mehr Steilheit, folglich mehr Stärke gewann.

Fig. 96 bis 98 (S. 78) zeigt die Anlage eines Spitzbogen-Gewölbes mit verschiedenen Spannweiten der einzelnen Kappen.

Die allgemein üblichen Stärken der Kappen und Grate der Kreuzgewölbe sind folgende:

Spannweite	Gewölbestärke	
	in den Kappen	in den Graten
bis 6,25m	1/2 Stein.	1 Stein.
bis 9m	1/2 „ im Scheitel. 1 „ im Kämpfer.	1 „ im Scheitel. 1 1/2 „ im Kämpfer.
bis 18m	1 „ im Scheitel. 1 1/2 „ im Kämpfer.	1 1/2 „ im Scheitel. 2 „ im Kämpfer.

Die Widerlagsstärken betragen in den den Ecken der Grate:

bei halbkreisförmigen Gewölben 1/4 bis 1/6 } der Diagonale.
bei spitzbogigen Gewölben 1/5 bis 1/7 }

Sind die Widerlagsmauern resp. Pfeiler höher als 3m, so muß die Stärke um 1/8 bis 1/10 der Höhe vermehrt werden.

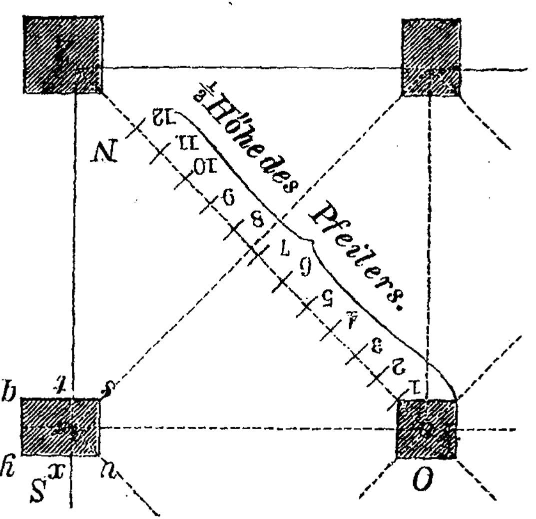


Fig. 99.

Werden größere Räume, Kirchen u. s. w. mit mehreren Kreuzgewölben überdeckt, so werden die Stärken der Mittel- und Zwischenpfeiler folgendermaßen graphisch dargestellt: Fig. 99.

Uebertrage die halbe Höhe (1/2 H) des Pfeilers vom Fuß bis zum Kämpfer, von O nach N, theile O N in 12 gleiche Theile mache die halbe Diagonale des Mittelpfeilers O im Grundriß gleich einem dieser Theile; der Pfeiler kann, je nachdem die Räume achteckig oder quadratisch sind, auch die entsprechende Gestalt im Grundriß erhalten.

Die Dimensionen des Seiten- und Mittelpfeilers s werden gefunden, indem man v, von oben beschrieben = 1/2 O N, und ferner

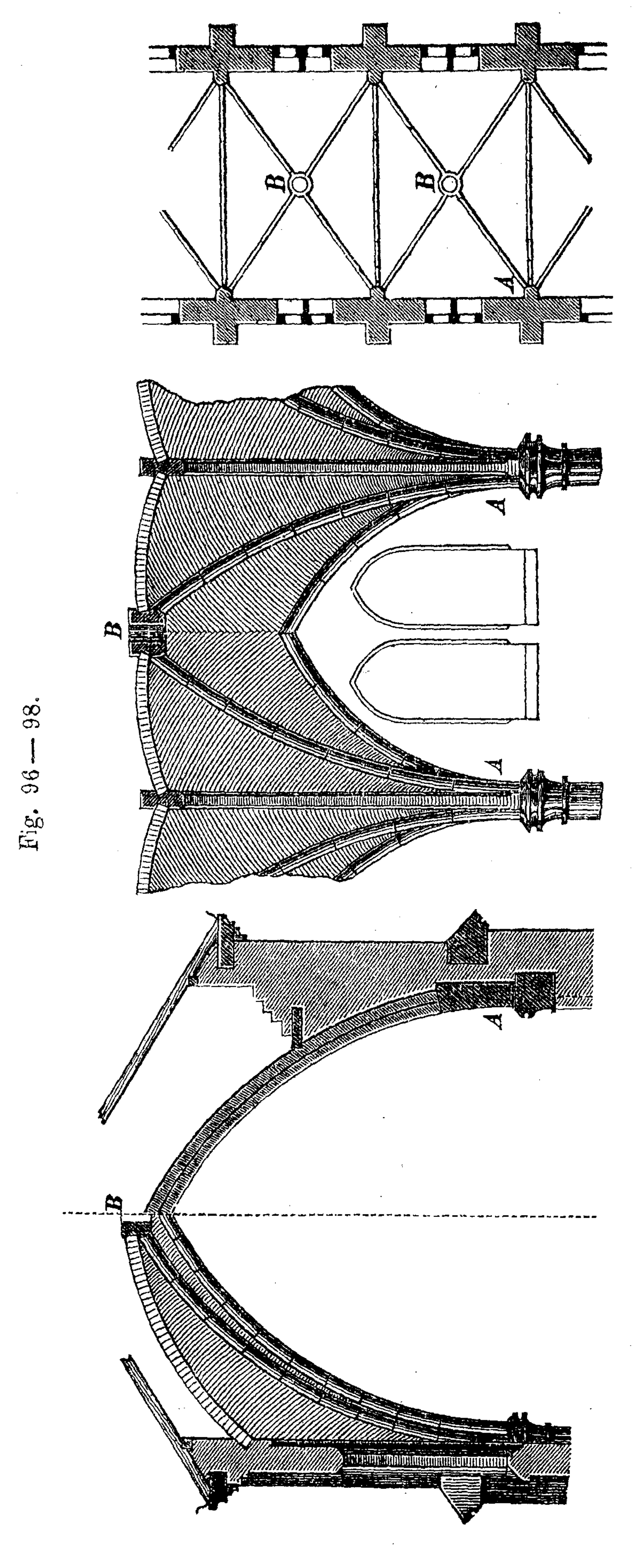


Fig. 96 — 98.

tp = 2 ts und xg = 2 vx macht; es entsteht dann ein achteckiger Pfeiler, bei dem sich die Seiten wie 2: 3 verhalten. Die Eckpfeiler kann man nach obiger Tabelle bestimmen.

§. 10.

Das Kloster- und das Kuppelgewölbe.

Wie früher nachgewiesen, bildet sich durch die Durchdringung der Tonnengewölbe außer dem Kreuzgewölbe das Klostergewölbe. Letzteres unterscheidet sich vom ersteren hauptsächlich dadurch, daß es auf allen Seiten Widerlager verlangt, während das Kreuzgewölbe nur auf den Ecken Widerlagspfeiler nöthig hat. Fig. 100 und 101 stellen ein Klostergegewölbe im Grundriß und Durchschnitt dar.

Der Querschnitt AB bildet ge-

wöhnlich einen Halbkreis, so daß die Grate eod und cob Ellipsen werden.

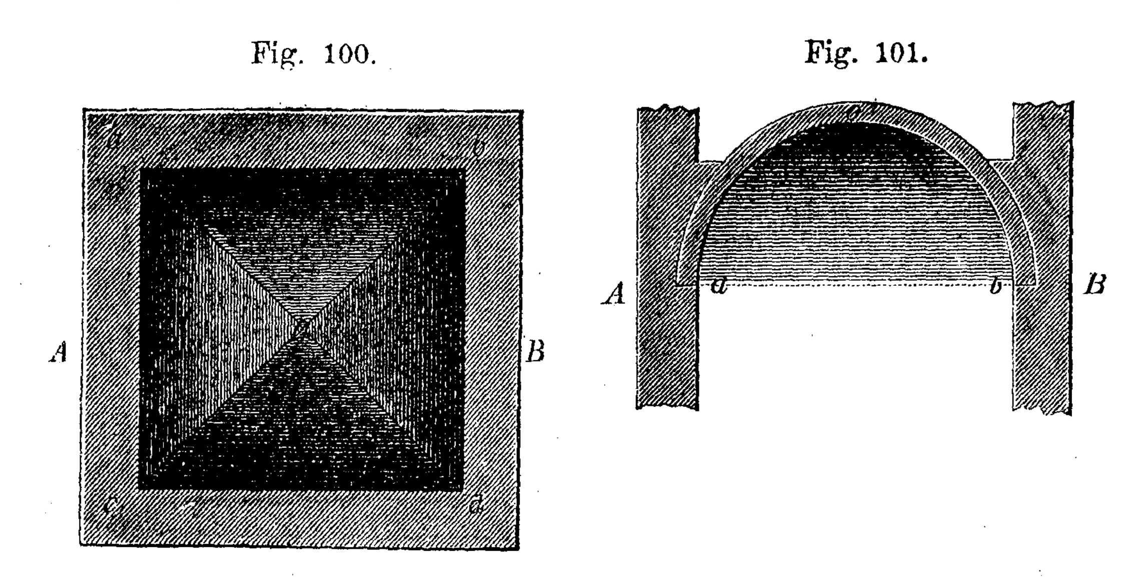


Fig. 100. Fig. 101.

Die Steinschichten sind einen halben Stein stark und laufen parallel mit den Umfassungsmauern. Die Hintermauerung geht wie bei den Tonnengewölben bis zu zwei Drittel der Höhe des Gewölbes hinauf. Da hier alle vier Umfassungsmauern einen gleichen Seitendruck wie bei den Tonnengewölben auszuhalten haben, so bestimmt man ihre Stärke ähnlich wie bei denselben. Sie können aber etwas schwächer gemacht werden, da hier nur die halbe Last des entsprechenden Tonnengewölbes gegen je eine Widerlagsmauer drückt. Es ist noch zu bemerken, daß die Grate hier nicht verstärkt wie bei den Kreuzgewölben, eingespannt werden, sondern nur scharfe Kanten bilden, welche meistens ebenfalls nicht stärker als ein halber Stein sind.

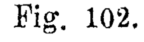
Man kann sich dergleichen Klostergewölbe auch über beliebig vieleckige Räume denken, wo alsdann eben so viel dreieckige Walme entstehen, als das Vieleck Seiten hat.

Sollen Klostergewölbe zu Kellerwölbungen verwendet werden, so erzeugen sie dieselben Unbequemlichkeiten, wie die Tonnengewölbe, daß man nämlich keine senkrechten Wände hat, was hierbei noch mehr eintritt, da alle Kappen nach der Mitte sich zusammenneigen. Kreuzkappen sind daher immer vorzuziehen.

Häufig findet man derartige Gewölbe achteckig, namentlich auf den Vierungen romanischer Dome ausgeführt.

Denkt man sich anstatt der acht Seiten eine unendlich vieleckige Grundform, d. h. einen Kreis, so entsteht:

Das Kuppelgewölbe. Setzt man auf einen kreisrunden


Fig. 102.

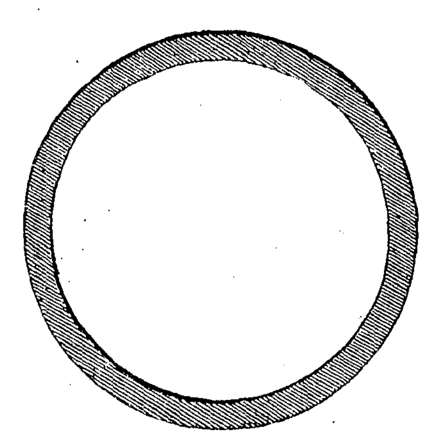
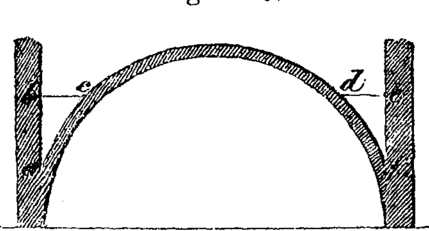


Fig. 103.



Unterbau (Fig. 102) ein hohles, halbkugelförmiges Gewölbe (Fig. 103), so laufen die Schichten dieses Gewölbes concentrisch mit dem Unterbau, werden nach dem Scheitel des Gewölbes zu immer kleiner, bis ein einziger Schlußstein das Ganze schließt. Die sämmtlichen Fugenschnitte gehen verlängert nach dem Mittelpunkte der Halbkugel, und der Schlußstein bildet einen abgestumpften Kegel, welcher oben und unten durch ein Stück der Kugelfläche begrenzt wird.

Man übersieht leicht, daß erforderlichen Falles anstatt des Halbkreises auch ein anderes Liniensystem sowohl für den Grundriß als den Durchschnitt gewählt werden kann, z. B. eine Ellipse.

Wird die Kuppel aus gebrannten Mauersteinen gewölbt, so kann man dieselbe bis zu 6m Weite ½ Stein stark machen, doch muß man dann für die oberen Gewölbringe halbe Steine verwenden. Bei größeren Weiten muß mindestens das untere Drittel 1 Stein stark werden. In beiden Fällen ist jedoch die Kuppel nicht mehr feuersicher, sondern wird bei einem Brande von dem zusammenstürzenden Gebälk ganz oder theilweise durchgeschlagen, weshalb man selbst bei geringerm Durchmesser die Kuppel durchweg einen ganzen Stein stark macht. Der Schlußstein wird aus einem Stück Haustein gebildet, oder eigens geformt und gebrannt.

Da die einzelnen Steinschichten immer in sich selbst rund und in wagerechter Ebene abschließen, so kann man auch, wenn man will, mit jeder Schicht das Gewölbe aufhören und eine beliebig große Oeffnung lassen (Lichtöffnung oder Nabel der Kuppel). Diese Eigenthümlichkeit macht die Kuppelgewölbe besonders geschickt zu solchen Anlagen, wo man dergleichen Oeffnungen wünscht, z. B. zu Oberlichtern in Kirchen, Treppenhäusern oder zu Aufziehöffnungen in gewölbten Magazinen 2c. Die Füße des Gewölbes erhalten ringsum eine Hintermauerung, wie in Fig. 103 bei a b c und d e f angedeutet ist. Um die Mauern nicht zu schwächen ist es zweckmäßig, die unteren Schichten bei af durch horizontal vorgekragte Schichten herzustellen.

Da außerdem ein Gewölbe um so weniger auf seine Widerlager drückt und schiebt, je leichter es ist, so pflegt man Kuppeln, welche aus Haustein, Mauerstein oder Gußmörtel construirt sind, nach dem Vorbilde der Römer mit Vertiefungen reihenweise auszuhöhlen und dadurch zu erleichtern. Diese Aushöhlungen des Gewölbes nennt man Cassetten. Sie bekommen gewöhnlich eine viereckige Umrißform und werden nach der Dicke des Gewölbes hin schmäler, so daß jede einzelne eine abgestumpfte vierseitige Pyramide bildet, deren größere Fläche an der Unterfläche des Gewölbes liegt. Solcher Cassetten ordnet man mehrere Reihen über einander an, so daß sie nach oben immer kleiner werden. Zwischen diesen Cassetten, sowohl der Breite als der Höhe nach, bleiben sogenannte Stege stehen, welche die volle Gewölbestärke erhalten und etwa den dritten Theil der Cassette breit sind. Der Schub einer Kuppel im runden Raume ist auf allen Punkten der Umfassungsmauern gleich groß.

Der oberste Theil der Kuppeln bildet einen sehr flachen Bogen, wie wir bereits (§ 4, 4) bemerkten, und diese geringe Steigung ist Ursache, daß man bei sehr großen Kuppeln den ganzen oberen Theil offen läßt und nur mit einem Kranze abschließt.

Dergleichen Kränze bildet man bei großen Kuppeln von Hausteinen, bei solchen, die von Ziegeln gewölbt sind und dem gewöhnlichen Gebrauche dienen, macht man den Kranz zum Schutze des Gewölbes von Eichenkernholz.

Sofern die Kuppeln über sehr weite Räume gespannt werden, so wendet man wenigstens zu dem oberen Drittel leichte Steine an, welche unter andern dadurch erhalten werden, daß man die Thonmasse vor dem Brennen mit vegetabilischen Stoffen mischt, die beim Brennen zerstört werden, solche Stoffe sind: Holz- und Steinkohle, Stroh ꝛc. Eine andere Art der leichten Steine sind die hohlen Steine, jedoch werden bei Kuppelwölbungen gewöhnlich die cylindrischen hohlen Steine (Töpfe) angewendet, die bei den Topfgewölben § 14 näher besprochen werden.

Eine Kuppel erfordert etwa nur den achten Theil ihres Durchmessers zum Widerlager, wobei sich von selbst versteht, daß mit der Höhe des Unterbaues auch die Stärke des Widerlagers wachsen muß.

Ein wesentlicher Vortheil der Kuppelwölbung ist noch, daß man dabei keine Verschalung zu ihrer Wölbung braucht (ausgenommen, wenn sie von Gußwerk ist). Man stellt nur kreuzweise zwei Lehrbogen

auf, um die Richtung nicht zu verfehlen und wölbt das Ganze aus freier Hand nach Lehren, die im Mittelpunkt der Kugel befestigt und um demselben drehbar sind.

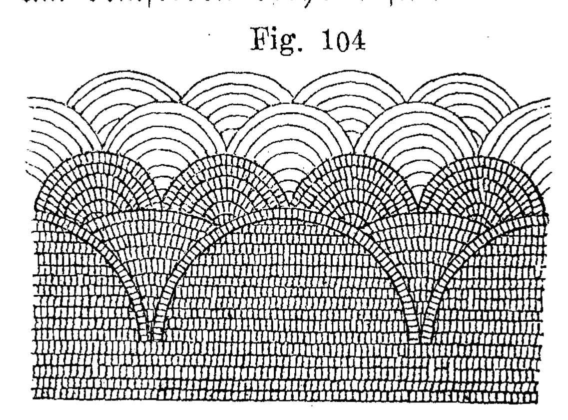

Fig. 104

Fig. 104 zeigt die Anordnung einer achteckigen Kuppelwölbung von Backsteinen, wie sie im Jupitertempel zu Spalatro im Palaste des Kaisers Diocletian angewendet wurde. Aus dieser fächerartigen Verbindung ergiebt sich eine große Festigkeit der Construction.

Soll eine runde Kuppel über einem eckigen Raume errichtet werden, so können zwei Fälle eintreten;

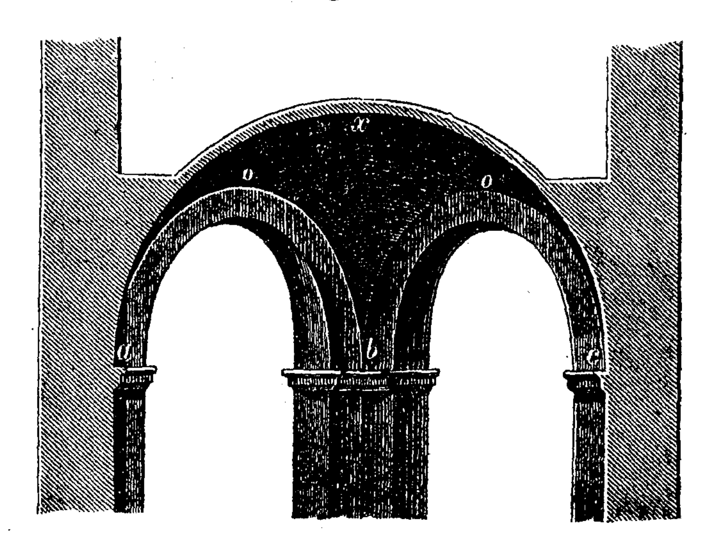
1) Man denkt sich über den umschriebenen Kreis der Grundrißfigur eine Halbkugel errichtet und durch senkrechte Ebenen die über die Grundrißfigur hinausfallenden Stücke abgeschnitten.

Beispiel. Figur 105 zeigt den quadraten Grundriß eines Kuppelgewölbes. Ueber AabBcd denke man sich eine Kuppel gewölbt und durch senkrechte Ebenen über ab, bc, cd und ca die außenliegenden Stücke Aad u. s. w. abgeschnitten. Im Querschnitt Figur 106 zeigt sich die Kämpferlinie aob als Halbkreis, die Durchschnittsfläche des Kuppelgewölbes als Kreisabschnitt oxo. Der Diagonalschnitt Fig. 107 zeigt als Gewölbedurchschnitt den ganzen Halbkreis axc und die beiden Kämpferlinien aob und boc in dieser Projection als Ellipsen.

Fig. 105.

Fig. 106.

Fig. 107.



2) Man denkt sich über dem inbeschriebenen Kreise der Grundrißfigur eine Halbkugel errichtet und die dadurch nicht überdeckten Ecken durch besondere kleinere Gewölbe, sogenannte Zwickel oder Pendentifs ausgefüllt.

Beispiel. Fig. 108 zeigt den quadraten Grundriß des Kuppelgewölbes abcd, efgh bildet den Grundkreis der oberen Kuppel, aeh, ebf, fdg, gch die vier Zwickel oder Pendentifs. Im Querschnitt Fig. 109 kann hob einen Halbkreis, einen gedrückten oder überhöhten Bogen bilden, ebenso kann die Kämpferlinie aeb, welche durch die Pendentifs gebildet wird, einen Halbkreis, einen flachen Bogen oder Spitzbogen bilden. Das Gewölbe wird um so fester werden, je steiler die Pendentifs ausladen.

Fig. 108.

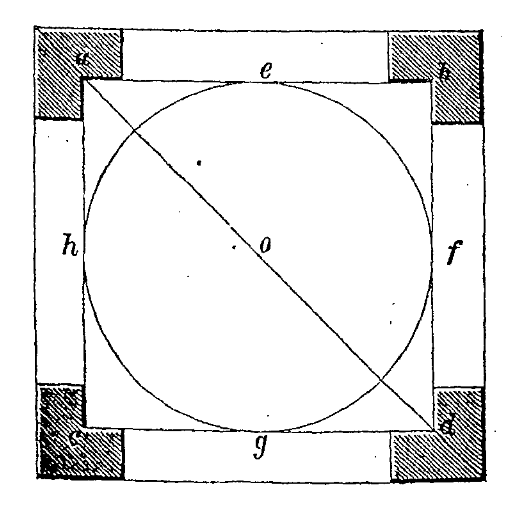
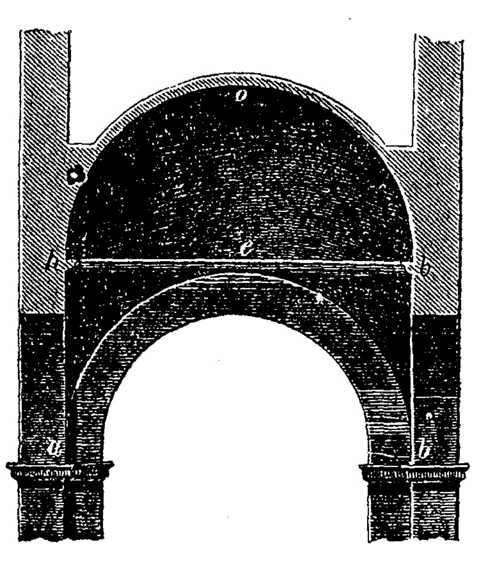
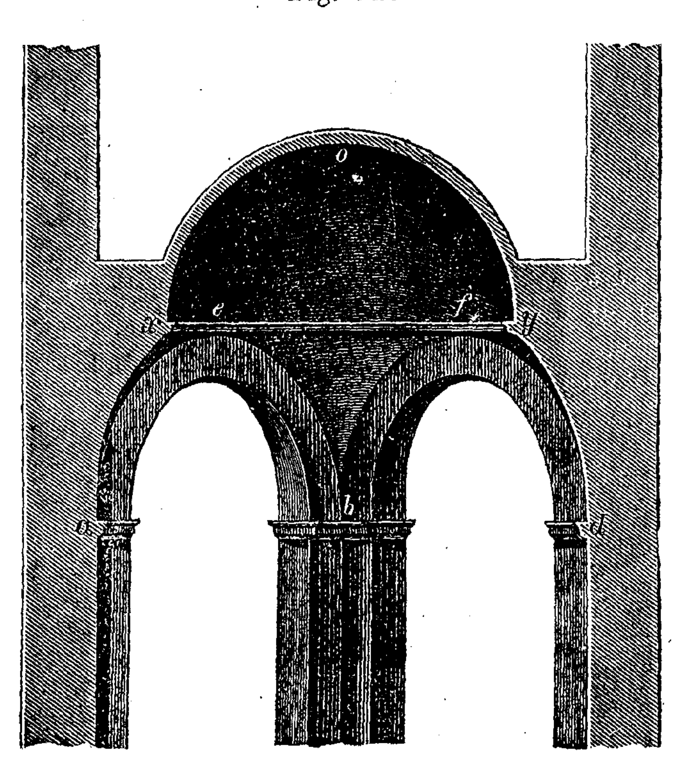


Fig 109.



Der Diagonalschnitt Fig. 110 zeigt zunächst xoy congruent mit hob in voriger Figur, ferner die Ellipsen aeb und bfd. Besonders auffallend sind hier aber die vorspringenden Winkel x und y, welche nur durch die Horizontalspannung des Kreises hefg im Gleichgewicht erhalten werden.

Fig. 110.

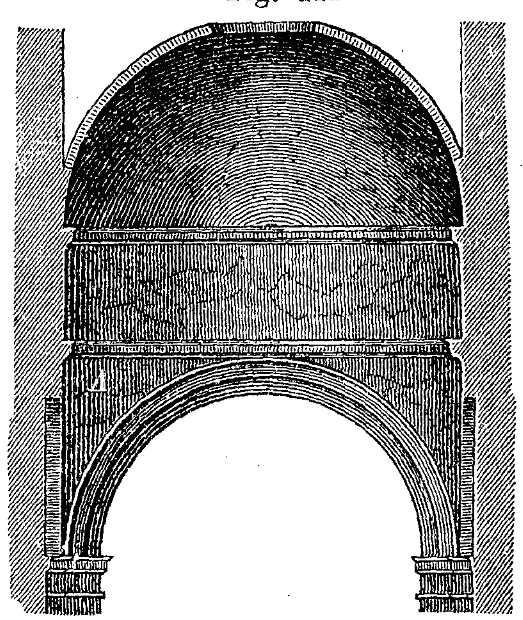


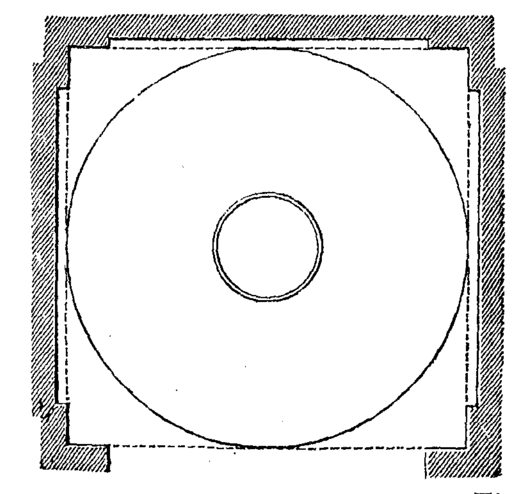
In Fig. 111 bis 112 setzt sich das Kuppelgewölbe noch auf einen Tambour, welcher wiederum von den Pendentifs unterstützt wird; der Tambour hat beliebige Höhen, oder kann auch ganz fehlen, so daß die Kuppel derart auf den Pendentifs stehen würde. In Kirchen, Kapellen u. s. w. wird der Tambour sehr hoch gemacht, da er in der Regel Lichtöffnungen erhält. In Treppenhäusern bürgerlicher Gebäude dagegen erhält er keine Durchbrechung, da das Licht hier durch den Nabel fällt.

Die Kuppel wird entweder glatt geputzt, oder nach Fig 113 mit Kassetenfeldern versehen.

Fig. 114 zeigt die Lage der Schichten eines Kuppelgewölbes nach dem umschriebenen Kreise im Grundriß, wobei man den Stichbogen abc wegzudenken hat. Ebenso wie beim Kreuzgewölbe kann man auch hier die vier Widerlagsmauern durch Gurtbogen ersetzen, namentlich, wenn sich das Gewölbe fortsetzt, und hat alsdann in den vier Ecken nur Pfeiler nöthig. Den stärksten Seitenschub haben die

Fig. 111.





vier Ecken zu erleiden, da die Bogen über den Diagonalen des Vierecks am größten sind. Will man diese Ecken bedeutend verstärken, so führt man diese Zwickel nicht wie Fig. 114 aus, sondern man legt entweder in den Ecken Werksteine ein, deren Stirnfläche nach der Gewölbeleitung überkragt oder man mauert diese Zwickel bis über die Bogenlinie hinaus, horizontal vor, und erhält alsdann in der Richtung der Diagonale a c eine bedeutende Verstärkung der Widerlager, wie Figur 115 (S. 87) H verdeutlicht.

Die Kuppeln im viereckigen Raum brauchen ebenfalls keine Verschalung, sondern nur zwei über Eck gestellte Lehrbogen, und was sonst noch bei der Kuppel im runden Raum erwähnt wurde, gilt auch hier.

Will man die Widerlagsstärke

Fig. 112.

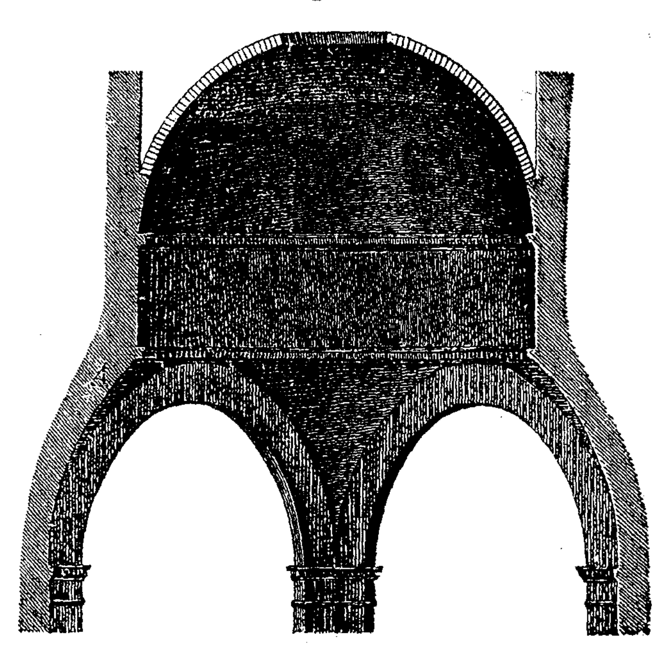
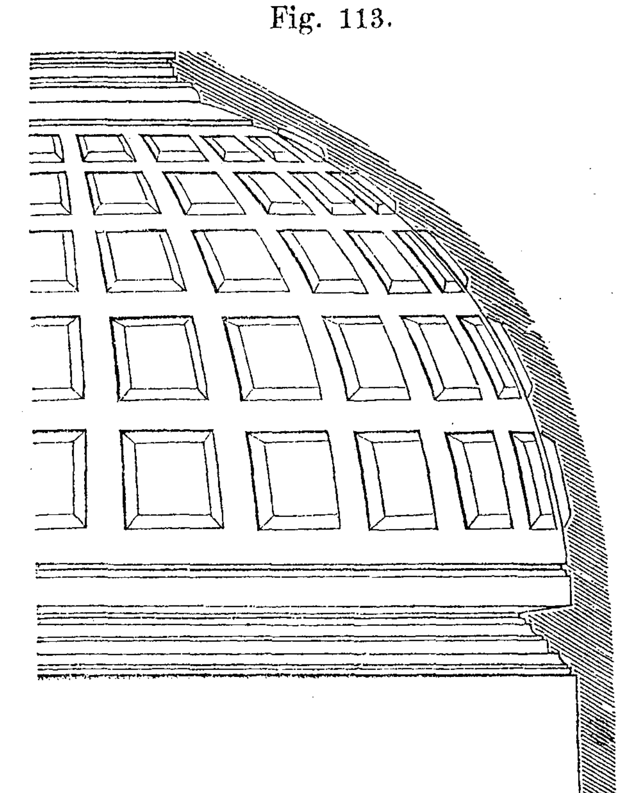


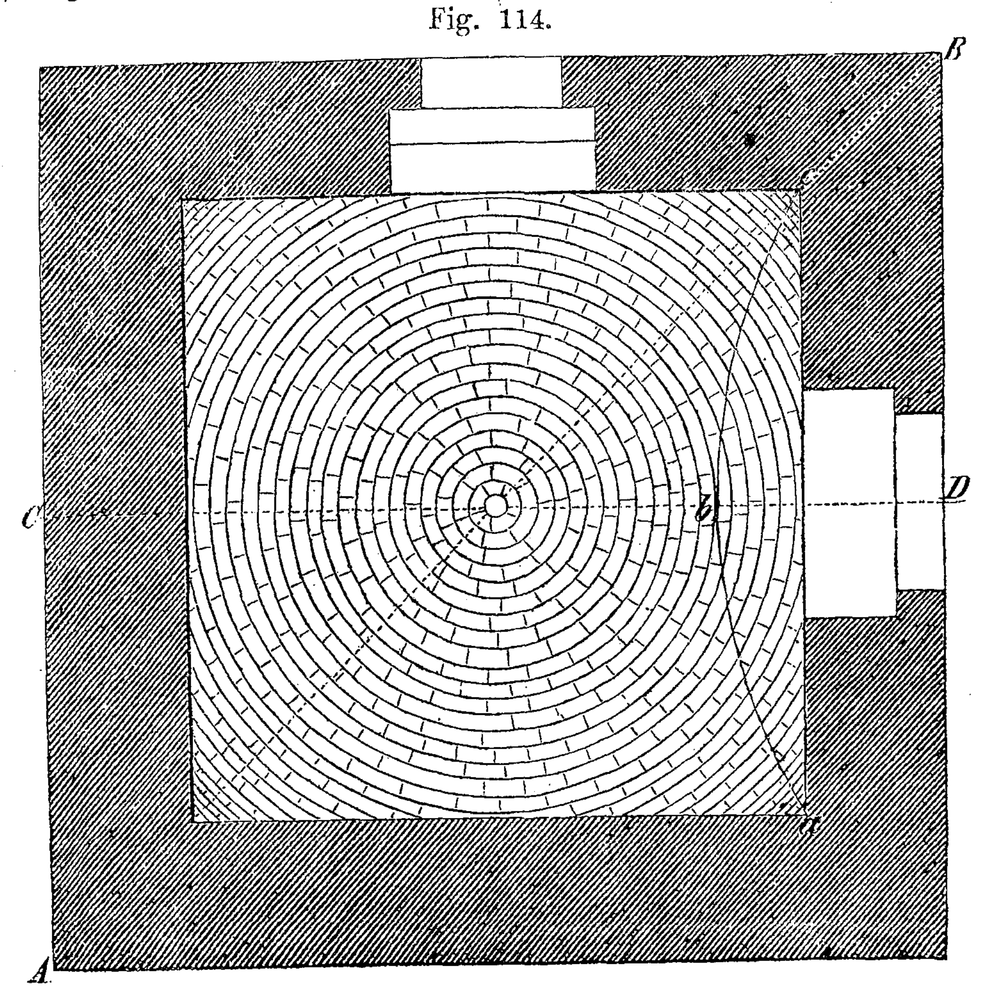
Fig. 113.



ermitteln, wenn die Zwickel nicht durch horizontales Vormauern, sondern wie Figur 114 mit centrischen Schichten ausgeführt werden, so muß es nach der Länge der Diagonale geschehen, für welche man einen darauf errichteten Halbkreis als Bogen annimmt. Gewöhnlich nimmt man $^1/_5$ der Länge der Diagonale als Länge einer der quadratischen Eckpfeiler.

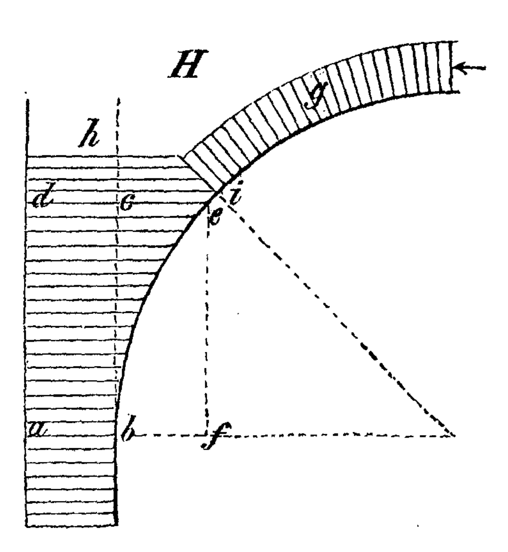
Die große Bequemlichkeit bei baulichen Anordnungen, welche die Kuppel im viereckigen Raume zuläßt, hat diese Art von Gewölben sehr vielfältig in Anwendung kommen lassen.

Fig. 114.



Was ihre Festigkeit betrifft, so steht sie mit der Kuppel im runden Raume gleich und sind beide bei 1 Stein Stärke und gänzlich geschlossener Wölbung feuersicher; auch hat man beide Arten in den größten Abmessungen angewendet.

Fig. 115.



Ebenso kann man sich Kuppelgewölbe über vieleckigen, wie über viereckigen Räumen errichtet denken. Wäre z. B. die Grundform ein Achteck und die Kuppel sollte eine Halbkugel werden, so würde sie 8 Zwickel bekommen, und der im Achteck beschriebene Kreis würde die Größe des Kugelabschnittes andeuten, welche auf dem achteckigen Grundrisse so ruhte, daß er die Mittelpunkte aller Seiten des Achtecks berührte.

Der Schub der Kuppel über vieleckigen Räumen geht nach den Ecken des Vielecks, also dürfen nur diese stark genug sein, um ihm zu widerstehen.

Alle Kuppelgewölbe erhalten Hintermauerungen.

Bildet die Wölbung ein Viertheil Kugelgewölbe (also eine halbe Kuppel), so nennt man sie ein Nischengewölbe.

Die Dimensionen der Kuppelgewölbe über quadratische Räume betragen.

Spannweite.	Gewölbestärke	
	im Schlusse.	im Kämpfer.
bis 4^m	$1/_2$ Stein.	$1/_2$ Stein.
4 bis $5,6^m$	1 "	1 "
6 bis $7,5^m$	1 "	$1^1/_2$ "
7,6 bis $9,4^m$	$1/_2$ "	2 "

Bei ausgeführten Gewölben, wie z. B. dem Pantheon in Rom, beträgt die Stärke im Scheitel $1/_{30}$, am Kämpfer $1/_7$ der Spannweite. Die Widerlagsstärke beträgt $1/_5$—$1/_7$ vom Durchmesser des Raumes.

Rondelet giebt an, für die Widerlagsstärke des Kuppelgewölbes die Hälfte der Stärke eines entsprechenden Tonnengewölbes zu nehmen.

§ 11.

Das böhmische Kupppelgewölbe.

Das böhmische Gewölbe ist ein flaches Kuppelgewölbe mit großem Durchmesser, es ist gewöhnlich zwischen Gurtbogen gespannt und lassen sich damit, wie bei dem Kreuzgewölbe, große Räume in kleine Abtheilungen zerlegen, siehe Fig. 116 und 117. Das böhmische Gewölbe kann ebenso gut über vielseitige unregelmäßige Räume wie über quadratische gespannt werden. Von dem Kuppelgewölbe unterscheidet es sich in der Art der Einwölbung, es werden die böhmischen Gewölbe nämlich, der besseren Verschalung wegen, auf den

Fig. 116.

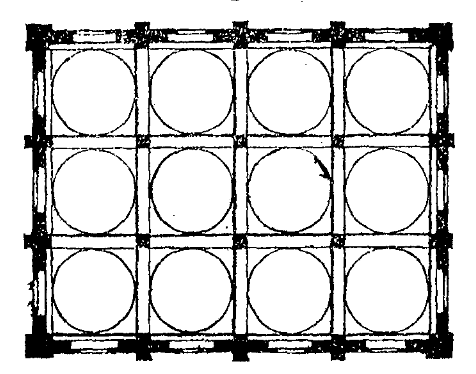
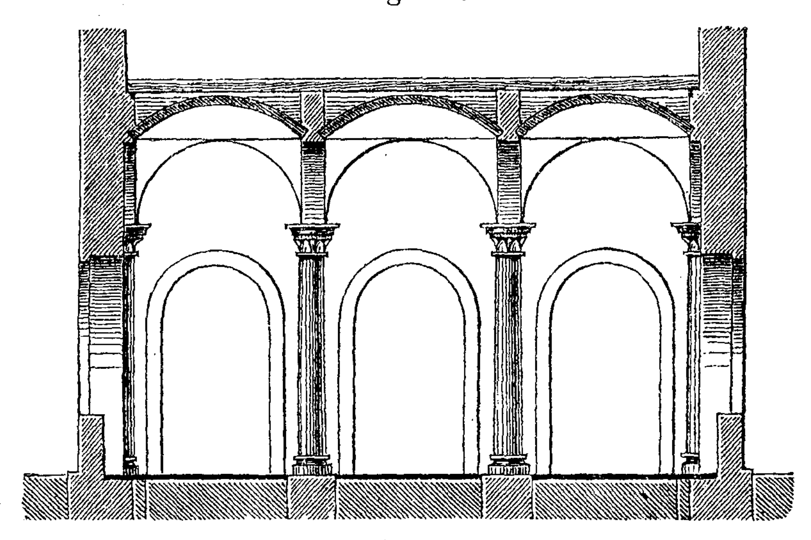


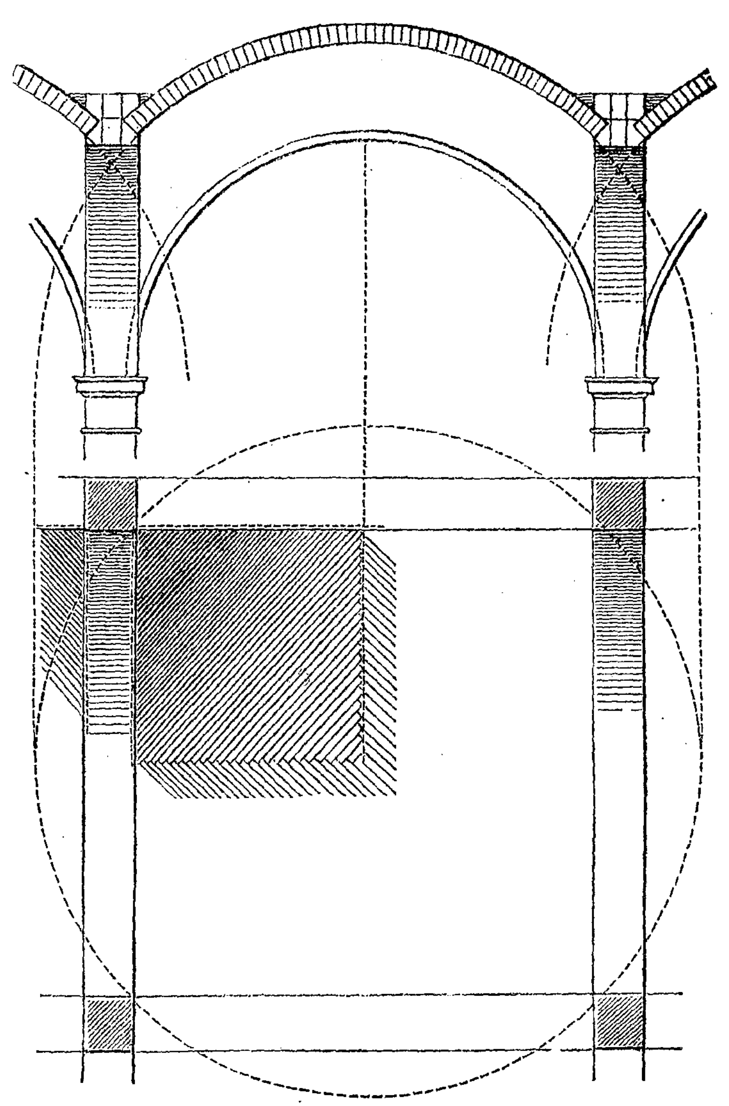
Fig. 117.



Schwalbenschwanz gewölbt. Fig. 118 und 119 zeigen den Grundriß und Durchschnitt eines sehr hohen Gewölbes über einen quadratischen Raum.

Das System des böhmischen Gewölbes ist ganz gleich, wie das bei der Kuppel im viereckigen Raume (§ 10), nur mit dem Unterschiede, daß der über der Diagonale des Quadrats errichtete Bogen kein Halbkreis, sondern nur ein Stück Kreisbogen, kleiner als ein Halbkreis ist (ein Stichbogen). Hieraus ergeben sich für die 4 Bogen an den Stirnmauern ebenfalls nur Stichbogen (nicht Halbkreise), und das Ganze bildet einen in vier kurze Zwickel auslaufenden hohlen Kugelausschnitt.

Fig. 119 u. 120.



Man wendet oft die böhmischen Kappen statt der gewöhnlichen (preußischen) an, weil bei ersteren die Widerlager sich den Gurtbogen mehr anschmiegen, also nicht horizontal laufen; ferner weil die böhmische Kappe bei derselben Pfeilhöhe eine größere Festigkeit hat, also über etwas weitere Räume gespannt werden kann und endlich weil man keine Verschalung braucht. Sie wird einen halben Stein stark und ähnlich wie die gewöhnliche Kappe im Schwalbenschwanz gewölbt. Fig. 120 zeigt den Grundriß mit dem Gewölbe von oben gesehen, wobei man die punktirten Linien wegzudenken hat. Zu ihrer Anfertigung bedarf man, wie bei der Kuppel im viereckigen Raum, nur zweier Lehrbögen, die nach der Diagonale des Raumes gestellt und in der Mitte durch einen Mönch unterstützt werden. Um jedoch die Widerlager der Kappen an den Stirnmauern oder Gurtbögen anlegen und beim Wölben noch eine sichere Lehre zu haben, sind auch

für die 4 Widerlagsmauern Lehrbögen (aus einem einfachen Brett) nöthig. Um diese zu erhalten, verfährt man folgendermaßen. Es sei in Fig. 120 abcd der rechteckige, zu überwölbende Raum; ac die Diagonale, ef die Höhe des Diagonalbogens, etwa $^1/_8$ bis höchstens $^1/_{12}$ der Spannweite, so erhält man nach § 2, 2 in m den Mittelpunkt des Bogens über der Diagonale ac. Um den Bogen für die Seite ad oder bc zu bestimmen, macht man eg′ = eg = $^1/_2$ab, so ist g′i die Bogenhöhe, ig″ der Radius; bc oder ad die Sehne des Bogens, wonach es leicht ist (nach § 2, 2) den Bogen aid zu zeichnen.

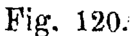
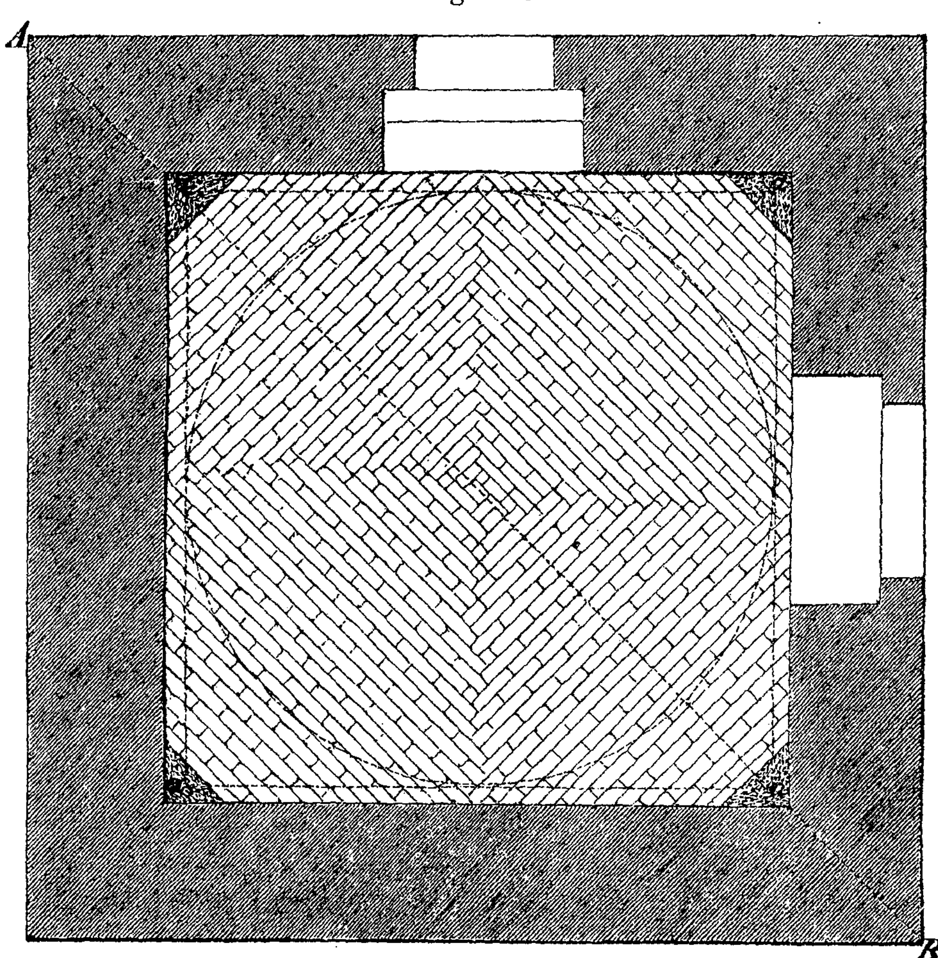


Fig. 120.

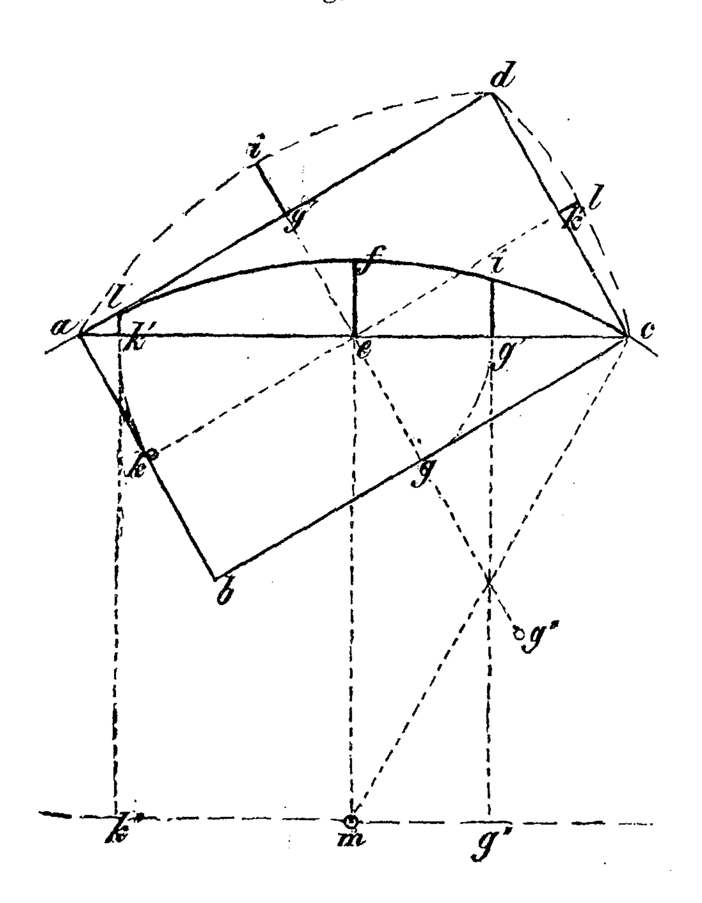


Um den Bogen für die Seite ab zu erhalten, macht man ek′ = ek = $^1/_2$bc, so ist k′l die Bogenhöhe und lk″ der Radius für den Bogen über ab und für den Bogen dlc. Wäre abcd ein Quadrat, so würde der Radius ig″ = lk″, überhaupt die 4 Bogen der Stirnmauer einander gleich.

Nachdem man also mit Hülfe dieser Lehrbogen die Rinnen an den Widerlagern ausgehauen und die Diagonallehrbogen, wie be-

merkt, gestellt hat, beginnt man mit dem Wölben. Kann man Schnittsteine in die Ecken legen, oder mauert man die Widerlager 15 bis 23^{zm} vor, wie § 5 beschrieben, so ist dies immer sehr zweckmäßig; sonst beginnt man in den Ecken, wie bei dem gewöhnlichen (preußischen) Kappengewölbe, nur daß man hier, wie bei der Kuppel im viereckigen Raum die Lehrbogen blos zur Lehre braucht, ohne die Steine darauf aufzusetzen, weil hier nicht wie beim Kreuzgewölbe ein vorspringender Grat, welcher Kappe zu tragen hat, sondern eine zurückliegende Wölbung vorhanden ist (ähnlich wie bei den zu Rauchmänteln angewandten Klostermänteln). Fig. 121 verdeutlicht den Querdurch-

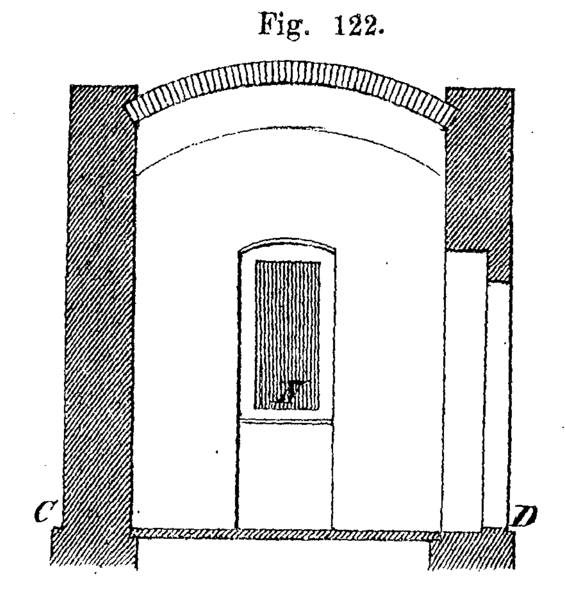
Fig. 121.



schnitt und Fig. 122 den Diagonaldurchschnitt eines böhmischen Kappengewölbes im halben Maßstab des Grundrisses, wobei jedoch die Pfeilhöhe etwas größer genommen ist als $^1/_8$ der Spannweite. Fig. 122 zeigt den Durchschnitt eines sehr flachen, der böhmischen Kappe ganz ähnlichen Gewölbes nach der Diagonale AB Fig. 120, jedoch im halben Maßstab.

Was die Spannweite anlangt, welche man den böhmischen Kappen von $^1/_{10}$ Pfeilhöhe giebt, so ist es gut, nicht über 3^m, höchstens

Fig. 122.



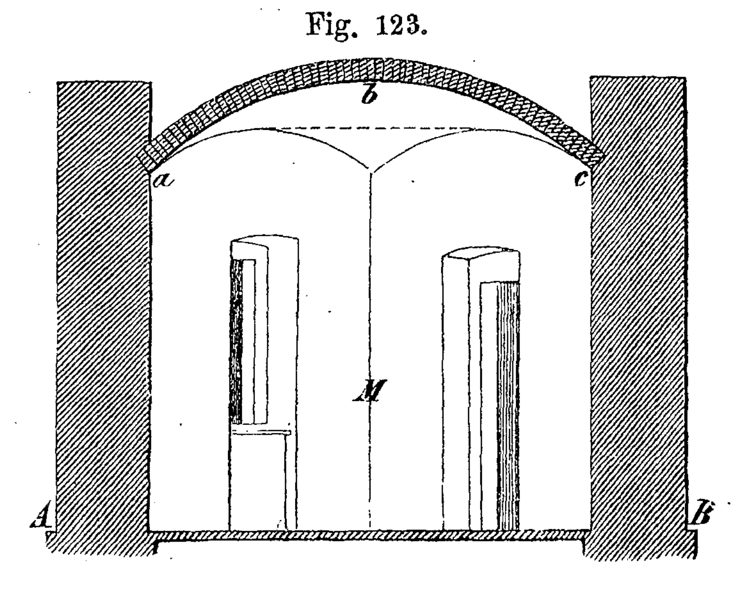
4^{m} hinaus zu gehen, namentlich wenn der Raum nicht quadratisch, sondern länglich ist. Es ist dabei noch zu empfehlen, Räume, welche länger als die eineinhalbfache Breite sind, durch Gurtbogen zu theilen und dadurch kleinere Gewölbefelder herzustellen; da die böhmische Kappe, wie die gewöhnliche Kreuzkappe, um so größere Festigkeit hat, je mehr sich der Raum einem quadratischen nähert. Was die Widerlagsstärke anlangt, so geht der Schub des Gewölbes hauptsächlich nach den Ecken und es kommt daher besonders darauf an, diese zu sichern, dazu macht man die Mauern an den Ecken nicht unter $^{1}/_{6}$ der Diagonale des zu überwölbenden Raumes stark; andernfalls, wenn die Widerlager schwächer wären, müßte man sie wenigstens durch horizontales Vermauern (§ 5) so weit verstärken. Hierbei ist immer vorausgesetzt, daß die böhmischen Kappen $^{1}/_{2}$ Stein stark auf den Schwalbenschwanz gewölbt werden und oben nur wenig stärkere Belastung erhalten, als sie für gewöhnliche Kappen zulässig sind.

Zwischenmauern oder Gurtbögen nebst ihren Pfeilern, welche den Schub von 2 oder mehr symmetrisch angeordneten Kappengewölben und somit blos senkrechten Druck erhalten, brauchen nur so stark zu sein, um diesem zu widerstehen, und dazu macht man die Gurtbogen 1 Stein stark und $1^{1}/_{2}$ Stein breit. Die Pfeiler macht man $^{1}/_{8}$—$^{1}/_{9}$ der Spannweite stark und überkragt so lange, bis die Gurtbogen in ihrer vollen Stärke angelegt werden können. Vergl. § 5.

Bei größeren Spannweiten als 3—4^{m} und wenn man den Raum nicht zweckmäßig durch Gurtbogen theilen kann, giebt man dem Gewölbe gern mehr Pfeilhöhe als $^{1}/_{10}$ und obwohl man solche Gewölbe auch noch böhmische Kappen zu nennen pflegt, so nähern sie sich doch mehr der Kuppel im viereckigen Raum und werden dann, wie diese nicht auf den Schwalbenschwanz, sondern mit centrischen Schichten gewölbt. Fig. 124 stellt den Grundriß, Fig. 122 den Querschnitt nach CD des Grundrisses und Fig. 123 den Diagonalschnitt vor. In Fig. 123 ist M der Mittelpunkt für den über der Diagonale

beschriebenen Bogen abc; in Fig. 122 ist N der Mittelpunkt für einen der vier Bogen an den Stirnmauern. Im Grundriß ist einer dieser Bogen abc über der Linie ac gezeichnet. Will man in einem Grundriß angegeben, daß das Gewölbe ein böhmisches Kappengewölbe

Fig. 123.



sein soll, so muß man über allen 4 innern Linien der Stirnmauer solche Bogen wie abc ziehen.

In Schlesien hat man an einigen Orten für diese Gewölbe eigens geformte Steine, welche 23 zm lang, 23 zm breit und 6 zm stark sind.

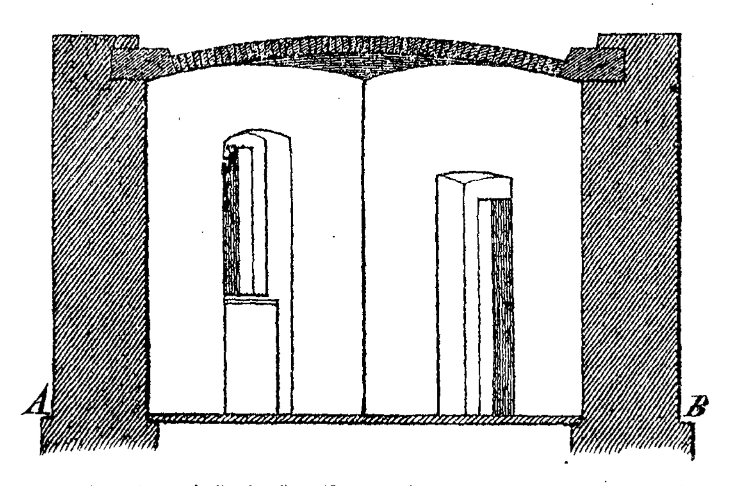
Die Ausführung dieser Gewölbe ist im Uebrigen so, wie sie bei der Kuppel im viereckigen Raum und unter 1) dieses Paragraphen beschrieben worden, sowohl hinsichtlich der Bestimmung der Lehrbogen, wie auch hinsichtlich des Wölbens. Bei länglichen Räumen bilden die Schichten keine Kreise, sondern Ellipsen.

Man braucht die Lehrbogen blos zur Lehre, aber nicht zur Unterstützung des Gewölbes und kann, wie bei der Kuppel, mit jeder Schicht, da sie in sich geschlossen ist, aufhören, also eine beliebig große Oeffnung belassen und durch einen Kranz aus Eichenholz schließen. Diese Gewölbe sind um so feuersicherer, je mehr sich ihre Diagonalbogen einem Halbkreis, also je mehr sie sich einer Kuppel nähern. Sie sind leichter auszuführen als die Kreuzgewölbe und empfehlen sich daher zu öfterer Anwendung; nur ist zu bedauern, daß die Maurer auf dem Lande oft beide Arten nicht anfertigen können, woher es kommen mag, daß die böhmischen Gewölbe namentlich im Norden von Deutschland noch selten sind. Andererseits kann das Kreuzgewölbe bei 13 zm starken Kappen und schwächeren Widerlagern recht gut über 5 m weite Räume gespannt werden und gewährt ein besseres Aus-

sehen, weßhalb man dasselbe da, wo man hinreichende Höhe hat, dem böhmischen Gewölbe vorzieht; auch hat außerdem die böhmische Kappe bei Stallgewölben, überhaupt da wo sich Dunst entwickelt, den Nachtheil, daß sich derselbe darin ansammelt und weniger leicht fortgeschafft werden kann, als bei der Kreuzkappe.

3) Die Figur 124 zeigt ein ganz flaches Gewölbe. Dasselbe ist auf den Schwalbenschwanz in gut bindendem Zement gewölbt. Seine Leibungsfläche gehört einer größeren Kugelfläche an, als die böhmische Kappe, welche man bei gewöhnlichen Materialien nicht so flach spannt.

Fig. 124.



In den Ecken sind Sandsteinstücke gelegt, wogegen sich die übrigen aus Ziegelsteinen bestehenden Theile des Gewölbes spannen. Die Spannung beträgt auf $2^1/_2$—$2^3/_4{}^{m}$ Durchmesser etwa nur 8^{zm}, so daß, wenn die untere Ansicht des Gewölbes in der Mitte etwas stärker als nach den Seiten hin geputzt wird, das Gewölbe alsdann wie ein vollkommen scheitrechtes erscheint. Es ist $^1/_2$ Stein stark.

Diese Gewölbeart ist neuerdings beim Bau des neuen Museums angewendet worden. Der Lehrbogen dazu bestand aus etwas starken Bohlenstücken, die durch Querleisten verbunden und nach der Form des Gewölbes oberhalb abgerundet waren. Sie wurden beinahe nach Art der sogenannten

4) d'Espiéschen Gewölbe angeordnet. Diese werden aus dünnen Fliesen auf der flachen Seite doppelt über einander gelegt und mit vorzüglich gutem Gypsmörtel aufgeführt. Hauptsächlich sind sie im südlichen Frankreich, wo sich Gyps von besonderer Güte findet, im Gebrauch. Bei uns hat man nicht viel Anwendungen davon gemacht; einmal, weil der hiesige Gyps weniger gut, und dann aber auch weil die Construction nicht geeignet ist, viel Vertrauen auf

ihre Festigkeit einzuflößen. Nach der Meinung des Erfinders, eines Grafen d'Espié, soll ein Gypsestrich über dem Gewölbe angebracht werden. Feuersicher sind diese sehr flachen Gewölbe nicht, weil sie leicht durchgeschlagen werden.

In Bezug auf die Widerlager ist zu bemerken, daß die beinahe scheitrechte Wölbung ein sehr starkes Widerlager erfordern würde, da aber das Gewölbe in augenblicklich bindenden Gyps gelegt wird, das Ganze also sowohl während der Arbeit, als auch nach der Vollendung gleichsam nur einen einzigen Stein ausmacht; so findet so gut wie gar kein Seitenschub statt.

Wie außerordentlich ein schnell bindender Mörtel zur Festigkeit der Wölbungen beiträgt, möge man aus Folgendem sehen. Bei dem Bau des neuen Berliner Museums wurde versuchsweise ein scheitrechter Boden von ca. 5^m Länge mit nur 4^{zm} Spannung, einen Stein hoch und einen Stein breit, zwischen zwei starken Mauern in Cement gewölbt, und unmittelbar nachdem der Schlußstein eingelegt und die Rüstung weggenommen war, ging ein starker Mann über den ganz frei schwebenden, scheitrechten Bogen. Bei einer Einwölbung mit gewöhnlichem Kalk wäre dies unmöglich gewesen.

Wählt man Gyps als Mörtel, so ist nur darauf zu sehen, daß das fertige Gewölbe niemals durch Feuchtigkeit leide, weil sonst der Gyps sich auflöst, ausdehnt und Alles einstürzen würde; wohingegen bei Anwendung vorzüglichen Portland-Cementes diese Rücksicht fortfallen würde.

§ 12.

Einige weniger übliche Gewölbearten.

Namentlich bei den folgenden Gewölbearten ist es zweckmäßig, den stark ansteigenden Theil des Gewölbes etwa doppelt so stark als den flachen zu machen und die Gewölbeanfänge durch Ueberkragung herzustellen und so die Widerlager zu verstärken.

1) Das Muldengewölbe Fig. 125. Es ist ein etwas modifizirtes Klostergewölbe, mit bogenförmigen Kämpferlinien, wobei sowohl cd und ab als auch ac und bd Widerlager werden.

Wenn dabei nach Fig. 126 die Wölbung vom Widerlager ab bis zum Widerlager cd nicht überspannt, sondern in den Punkten m und n anschließt, so daß im Scheitel die Linie mn eine horizontale Linie bildet, und ebenso am, bm, cn, dn als vertiefte Kanten erscheinen, so entsteht ein sogenanntes Walmgewölbe.

Fig. 125.

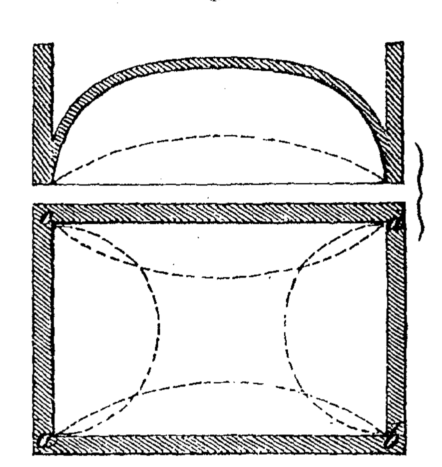
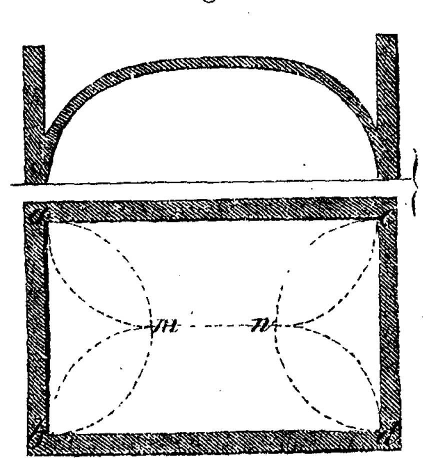
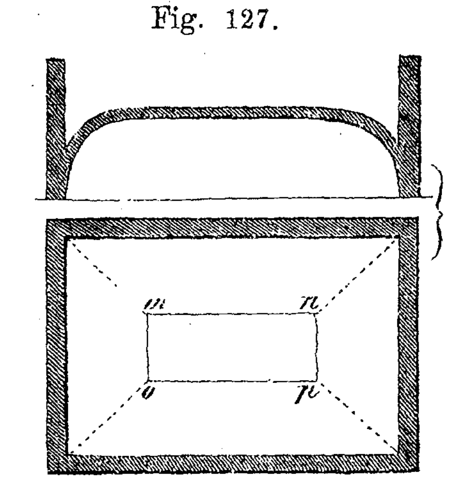


Fig. 126.



Das Spiegelgewölbe (Fig. 127) entsteht in ähnlicher Weise. Von den Umfassungsmauern erheben sich die Wölbungen in Viertelkreisen und schließen in der Mitte das scheitrechte Gewölbe (den Spiegel) mnop ein. Daß diese Gewölbe keine große Standfähigkeit haben, leuchtet ein, besonders darf der Spiegel gewisse Maaße nicht überschreiten, und eine Breite von 2—2½^{m} würde das Meiste sein, was man ihm geben könnte. Auch müssen bei dem Spiegelgewölbe Verstärkungsgurte in die Viertelkreisgewölbe eingezogen oder die Gewölbanfänge überkragt werden. Außer in Italien, wo man diese Gewölbe häufig in Guß ausgeführt findet, findet man sie selten anders als in Holz nachgebildet und ausgeführt. In Stein gewölbt, werden die Steine auf die hohe Kante eingesetzt und in Gyps oder Cement vermauert; der Spiegel hingegen auf den Schwalbenschwanz gegen die Widerlager mnop eingewölbt. Aehnliche Gewölbe werden besser und in ganz solider Weise durch ein horizontales Tragegerüst von eisernen Trägern mit Stein-Wölbung dazwischen ausgeführt.

Fig. 127.



3) Das kreisförmige Gewölbe. Denkt man sich einen halbkreisförmigen Gurtbogen auch nach unten hin in derselben Art geschlossen, so entsteht ein Kreisgewölbe. Seine Anwendung wird es besonders in folgenden Fällen finden. Erstens bei großen Brücken kann man, um den Untergrund ganz gleichmäßig zu belasten, die Bogen kreisförmig einwölben, wie es unter andern bei

der noch aus der Römerzeit herstammenden Brücke geschehen ist, die zu Rom unter dem Namen ponte di quatre Lagi bekannt ist.

Ferner kann man von ganzen Kreisgewölben bei Fundamenten der Gebäude Anwendung machen, ganz in derselben Absicht, um den Untergrund gleichmäßig zu belasten, welches bekanntlich bei Halbkreisbogen, die auf einzelnen Pfeilern stehen, nicht der Fall ist, indem alsdann der Untergrund nur auf den Punkten gedrückt wird, wo die einzelnen Pfeiler zu stehen kommen.

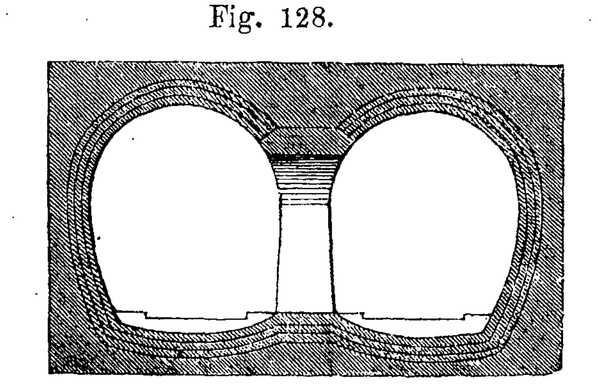
Man gewinnt aber durch die erwähnte Kreiswölbung an Festigkeit und spart das Material in den Bogenöffnungen.

Sind die Fundamentmauern sehr hoch, so kann man den unteren Halbkreis der Gewölbe von dem oberen noch durch zwischengemauerte kurze Pfeiler trennen, wodurch bei beinahe gleicher Festigkeit noch mehr Material gespart wird.

Das eiförmige Gewölbe. Es erleidet eine ähnliche Anwendung wie der ganze Kreis.

Die Eiform ist neben der Kugelform eine der festesten, welche es giebt, und bei dem Themsetunnel zu London, welcher gegen 1200 englische Fuß lang ist, hat das Gewölbe eine Stärke von 50^{zm}, und zwar sind drei Ringe, von denen jeder einen halben Ziegel stark ist, einzeln übereinander gewölbt. (Der Passage wegen sind zwei Oeffnungen mit einer durchbrochenen Scheidewand vorhanden.) Vergl. Figur 128. Bei uns werden die Tunnel drei Ziegel stark und ebenfalls in einzelnen Ringen gewölbt, von denen jeder einen Ziegel dick ist. Die Spitze (gewöhnlich halbkreisförmig) hat den kleinsten Radius und ist immer nach oben, als der Seite des stärksten Druckes gerichtet. Nach diesem Beispiel hat man namentlich bei Eisenbahntunneln die Eiform als Gewölbe vielfach mit großem Vortheil in Anwendung gebracht.

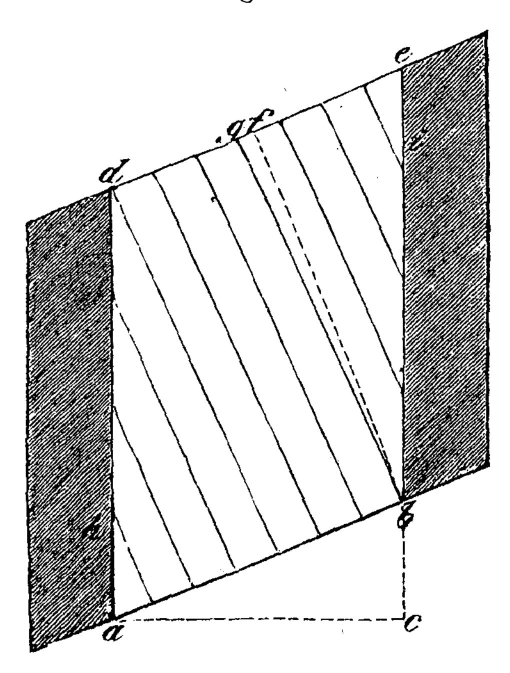
Fig. 128.



5) Schiefe Gewölbe. Sie kommen besonders bei Eisenbahnen (Durchlässen und Brücken) zur Anwendung, wenn der Schienenweg oder die Stromrichtung sich mit der gewöhnlichen Fahrbahn schiefwinklig schneiden. Meistens werden diese Gewölbe aus Haustein aus-

geführt, zuweilen jedoch aus Ziegeln. Gewöhnlich ist der Stirnbogen ein Halbkreis, oder der rechtwinklige Querschnitt ist halbkreisförmig und dann ist der Stirnbogen elliptisch. Der Einfachheit wegen ist Fig. 129 ein schiefes scheitrechtes Gewölbe im Grundriß gezeichnet.

Fig. 129.



Ist die Länge bc größer als die halbe Länge eines Wölbsteines, so dürfen die Längsfugen der Wölbschichten nicht wie bei dem Tonnengewölbe parallel den Widerlagern laufen. Denn da der Schub sich von jedem Punkte des Gewölbes rechtwinklig auf die Längsfugen nach den Widerlagern fortpflanzt, so würden die Steine bei a, namentlich wenn Erschütterungen stattfinden, herausfallen, da die rechtwinklige Drucklinie ac das Widerlager be nicht mehr trifft, ein Gleiches würde bei e stattfinden und nur in dem Viereck bhdi würden sich die Wölbsteine auf die Dauer halten, die andern hingegen nicht. Um dies zu vermeiden, läßt man die Längsfugen der Wölbschichten, wie in Fig. 229 im Grundriß dargestellt ist, möglichst rechtwinklig zur Stirn ab laufen.

Man theilt auf dem Ortbogen ab und de die Wölbschichten ein und zwar eine ungerade Anzahl gleicher Theile, zieht von b aus rechtwinklig zu ab eine Schnur, welche de in f schneidet. Diese Schnur rückt man nach der zunächstliegenden Fuge, also nach g, so giebt bg die Fugenrichtung an; die andern Fugen werden parallel mit bg, also rechtwinklig zu ab und de. Ist ein solches Gewölbe sehr lang im Verhältniß zu seiner Breite, so wölbt man den mittleren Theil, wie beim Tonnengewölbe, den vorderen und hinteren aber in der eben beschriebenen Weise.

Ganz ähnlich verfährt man bei schiefen Tonnengewölben. Bei Anwendung von Schnittsteinen wölbt man gewöhnlich nicht auf Schalung, sondern stellt die Lehrbogen etwas näher zusammen, und zwar immer parallel zu ab und de. Nachdem man, wie vorhin, die Fugeneintheilung auf dem Ortbogen gemacht hat (die hier entweder halbkreisförmig oder elliptisch 2c. sind), zieht man horizontal über

den Scheitel der Bogen und rechtwinklig zur Stirn eine Schnur wie in vorstehender Figur bf, rückt diese um etwas, so daß ein Punkt der Schnur lothrecht über b, ein anderer lothrecht über dem Fugenpunkt g liegt, dann lothet man von der Schnur aus auf die zwischen ab und de stehenden Lehrbogen herunter, so giebt eine Linie durch diese Punkte die Längsfugen einer Schicht an; ebenso verfährt man für die andern Schichten. Die Stoßfugen werden am besten normal zu den Längs- oder Lagerfugen oder parallel zu der Stirn ab.

Wenn es nicht darauf ankommt, daß die Leibungsfläche des Gewölbes eine stetig fortlaufende Fläche sei, dann theilt man das Gewölbe in kleinere Theile; setzt in der Kämpferhöhe für jeden Theil das Widerlager rechtwinklig ab, wodurch es Abtreppungen erhält und wölbt nun lauter einzelne Gurtbogen neben einander. Diese Gurtbogen oder Gewölbringe, auch Zonen genannt, welche zusammen ein abgetrepptes Gewölbe bilden und den schiefen Raum überdecken, werden nicht mit einander verbunden.

Wird das Gewölbe nicht im vollen Zirkel, sondern etwa im Kreuzzirkel ausgeführt, so macht man die einzelnen Zonenringe etwa 1,5—1,8^{m} breit. (Viaduct bei Waldenburg in Sachsen; Viaduct bei Rheinweiler, vergl. Wiener Bauzeitung 1850 ꝛc.) Ganz in derselben Weise kann man steigende schiefe Gewölbe ausführen, nur daß dann die abgetreppten Widerlager in verschiedenen Höhen, also nicht in derselben Horizontalebene liegen.

§ 13.

Das Spitzbogen- oder altdeutsche, auch gothische Gewölbe genannt.

Seine Bogenform besteht aus zwei sich schneidenden Kreisstücken. Fig. 130 zeigt den Grundriß, Fig. 131 den Querdurchschnitt eines

Fig. 130.

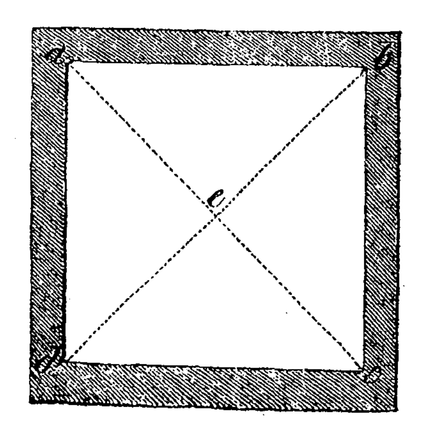
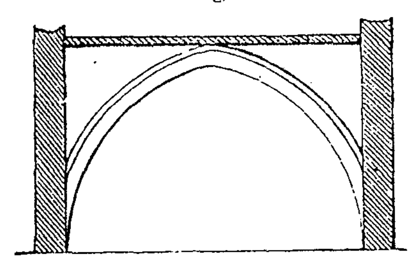


Fig. 131.



solchen Gewölbes. Man sieht hieraus, daß es mit der Kreuzkappe (§ 9) ein ganz gleiches System hat, nur mit dem Unterschiede, daß der Bogen kein Halbkreis, sondern ein Spitzbogen ist.

Der Spitzbogen ist an sich fester als der Halbkreis, weil die Brechungsfuge dem Scheitel des Gewölbes näher rückt.

Der Seitenschub eines solchen Gewölbes ist an sich viel geringer als der eines halbkreisförmigen, und wird um so geringer, je steiler man den Bogen wählt, weshalb die Widerlager verhältnißmäßig bedeutend schwächer werden können, wodurch bedeutende Ersparung entsteht.

Hat man für die Wölbung der Gratbogen Lehrbogen aufgestellt, so können die Kappen aus freier Hand eingewölbt werden, man braucht also kein anderweitiges Lehrgerüst und keine Verschalung.

Der Seitenschub geht hierbei wie bei der Kreuzkappe nach den Ecken des Gewölbegrundrisses, die Stirn- oder Schildmauern können demnach, da sie keinen Seitenschub auszuhalten haben, entweder ganz fehlen, oder sie brauchen nur so stark zu sein, um sich allein tragen zu können, wenn nur die Eckpfeiler stark genug gemacht werden. Man nennt bei dieser Art von Gewölben die Eckpfeiler, wenn sie durch Vorlagen nach außen verstärkt werden, Strebepfeiler, weil sie allein gegen den Seitenschub anstreben.

Die Steilheit der Bogen erlaubt die Stärke der Kappen sehr dünn anzunehmen, und man hat Beispiele, daß in altdeutschen Kirchen die Stärke der Gewölbekappen nur 10^{zm} beträgt. Da die Quergurte und Gratgurte das Ganze stützen und tragen, so werden sie bedeutend stärker als die Kappen und selten unter 31^{zm} stark gemacht; besteht das Gewölbe aus Mauersteinen, so macht man die Kappen gewöhnlich einen halben Stein, und die Gurte und Grate einen ganzen Stein stark.

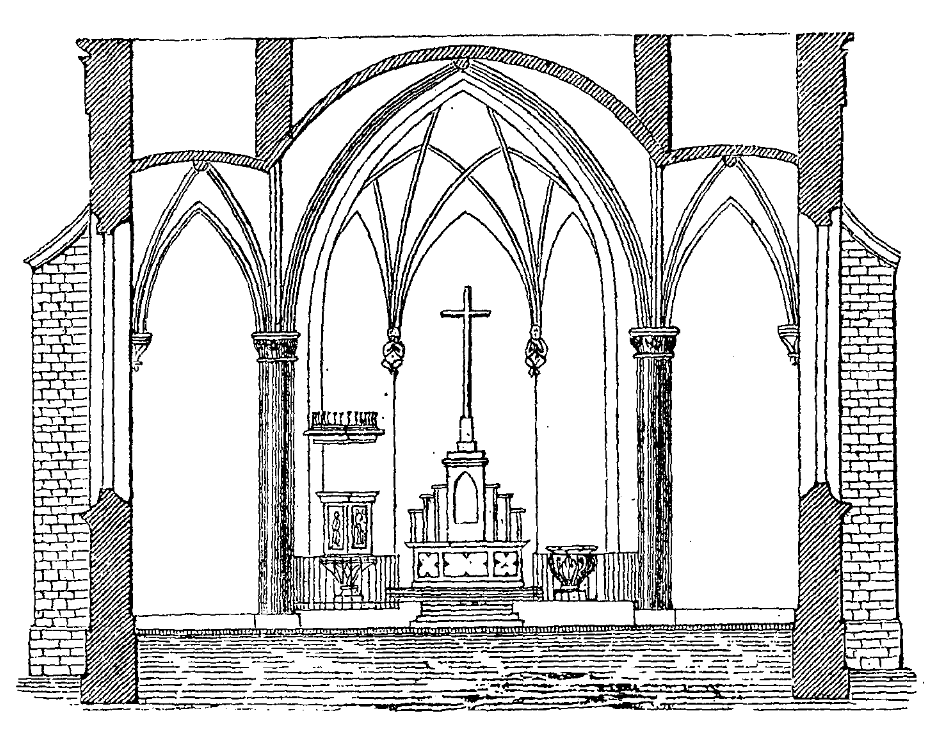
Es sind dergleichen Gewölbe häufig in Hausteinen ohne Mörtel und in gebrannten Mauersteinen mit Mörtel ausgeführt worden, und ihre Kühnheit der Maße, sowie ihre Dauer während nun mehr als 600 Jahren, bürgt gewiß ebenso für die Richtigkeit der dabei angewendeten Theorie, als für die Tüchtigkeit der Ausführung. Nichtsdestoweniger werden diese Gewölbe zu Unterkellerungen gar nicht mehr angewendet, da sie verhältnißmäßig einer zu großen Höhe bedürfen, welche man nicht hergeben kann. Früher wölbte man vielfach auch die Räume oberer Stockwerke in dieser Art und hatte so vollkommen feuersichere Wohngebäude, allein die wohlfeilere Balkendecke hat längst

alle Wölbungen dieser Art verdrängt, wenn erstere gleich feuergefährlich und nicht so dauerhaft ist. Indeß ist zu vermuthen, daß in den nächsten Jahrhunderten die Anwendung eiserner Balken mit dazwischen gespannten flachen Kappen aus hohlen Steinen, mehr und mehr stattfinden werde.

Das spitzbogige Kreuzgewölbe kann in jeder Grundrißform stattfinden; das Quadrat und die regelmäßigen Vielecke sind die bequemsten, aber auch im länglichen Viereck und in unregelmäßigen Vielecken findet es viel leichtere Anwendung als die rundbogige Kreuzkappe (§ 9).

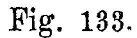
Als Beispiel geben wir (Fig. 132—135) eine kleine Kirche, durch Herrn v. Lassaulx in Treis an der Mosel ausgeführt und mitgetheilt. (Siehe allgemeine Bauzeitung. Wien.) Wir heben einiges die Anordnung Betreffende hier aus:

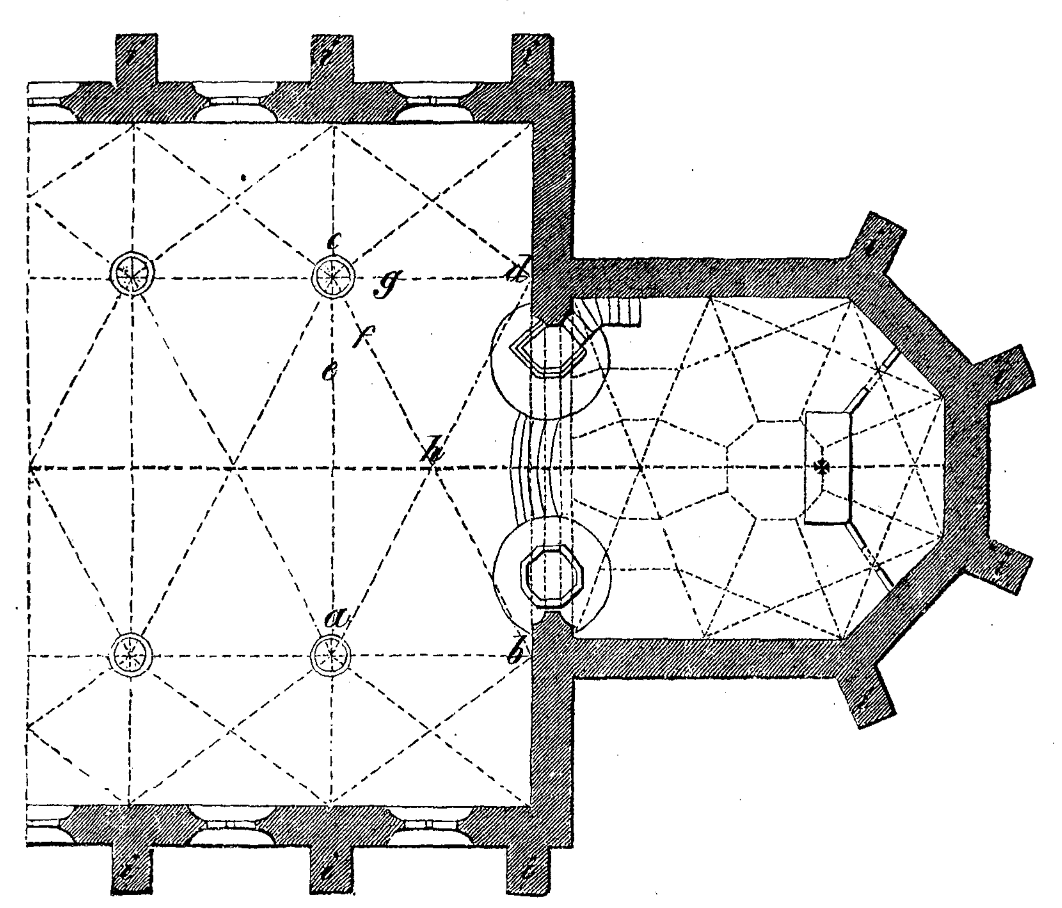
Fig. 132.



„Ein genaueres Studium des technischen Theiles dieser (altdeutschen) Bauart und der Mittel und Wege, ähnliche Arbeiten durch gewöhnliche Handwerker auszuführen, gab Herrn v. Lassaulx die Ueberzeugung, daß mit Benutzung neuerer Werkzeuge und der durch freie Concurrenz gesteigerten Handfertigkeit unserer Werkleute die Sache im Grunde nicht einmal sonderliche Schwierigkeiten darbiete. Nachdenken und Zufall hatten dabei auf Auffindung der verschollenen Art und Weise geführt, wie die Alten beim Ueberwölben weiter

Räume verfuhren, wie es nämlich möglich ist, solche leichte Gewölbe mittels einer eben so sinnreichen als einfachen Methode ganz aus freier Hand auszuführen, d. h. ohne Einschalung und einzig durch eine leichte Unterstützung der Gewölberippen (Gurte) oder sogenannte Reihungen."


Fig. 133.



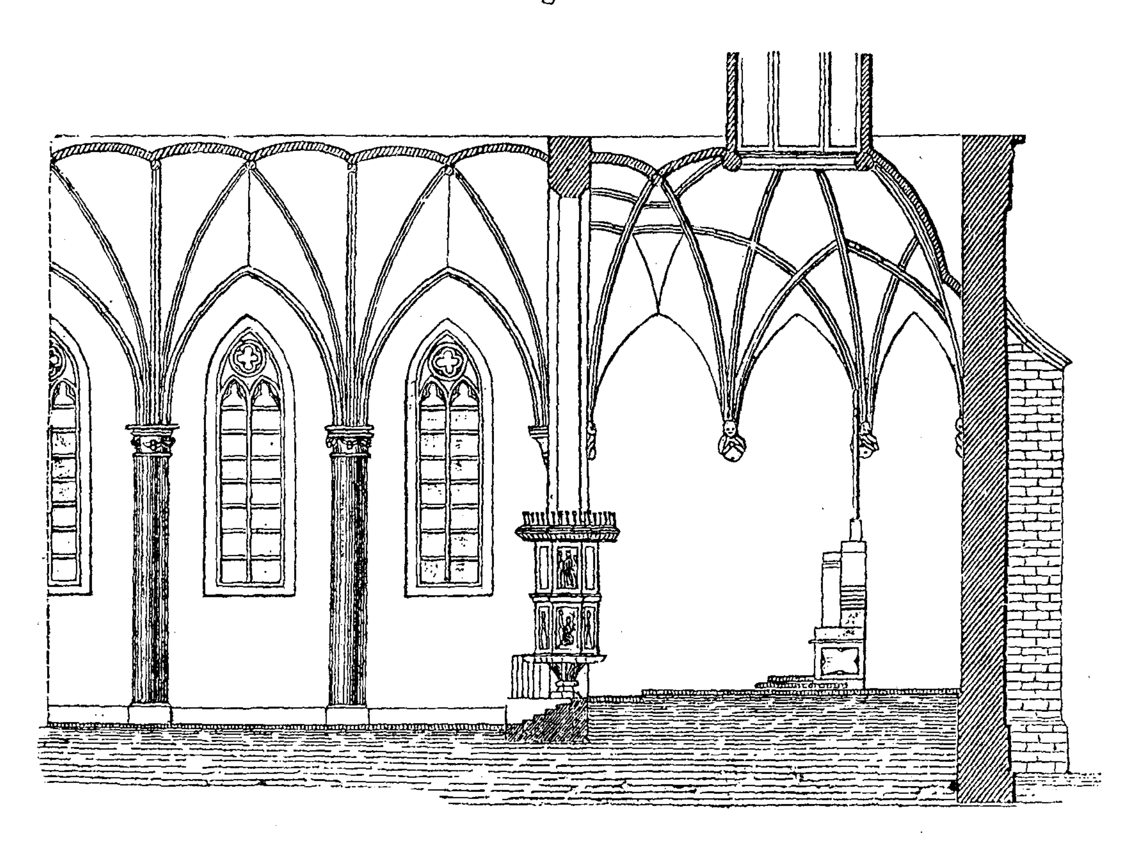
Die Grundform dieser Kirche ist die schon im 12. Jahrhundert vorkommende und im 15. und 16. Jahrhundert allgemein angewandte einer Hallenkirche von drei Schiffen unter einem Dache; sie bildet also ein Oblongum (Rechteck), auf dessen westlicher kürzerer Seite der Thurm um ein Weniges vorspringt, und an dessen östlicher ein mit drei Seiten eines Achtecks geschlossener Chor anstößt.

Chor und Kirche sind massiv, und nur 16zm dick überwölbt, so wie mit Gräten (Gratbogen) verziert, die in den Kirchenschiffen mit einfachen Quer- und Diagonalrippen auf Tragsteinen und den Säulen ruhen, im Chor aber in einer vielfach durchschlungenen Stütze die achteckige Lichtöffnung umgeben und tragen. Die Ueberwölbung geschah nach der oben gedachten Weise der Alten, ganz aus freier

Hand, d. h. ohne Einschalung und mittelst ganz einfacher Unterstützung der Gräte (Gratgurte).

Die nur 1^{m} dicken Mauern bestehen aus regelmäßigen Schichten von einem sehr guten Thonschiefer. Die Gewölbe bestehen aus Bimssteinconglomerat, einem vulkanischen Product, welches bei Engers am Rhein gegraben wird, und nicht viel mehr Consistenz besitzt wie ein Schwalbennest.

Fig. 134.



Betrachten wir nach diesem Vorausgeschickten die Zeichnung, so ergiebt sich noch Folgendes:

Fig. 135.

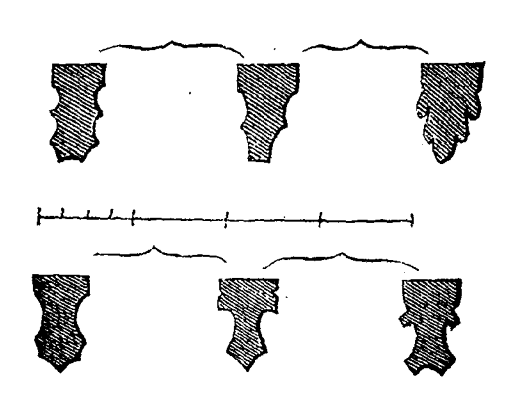


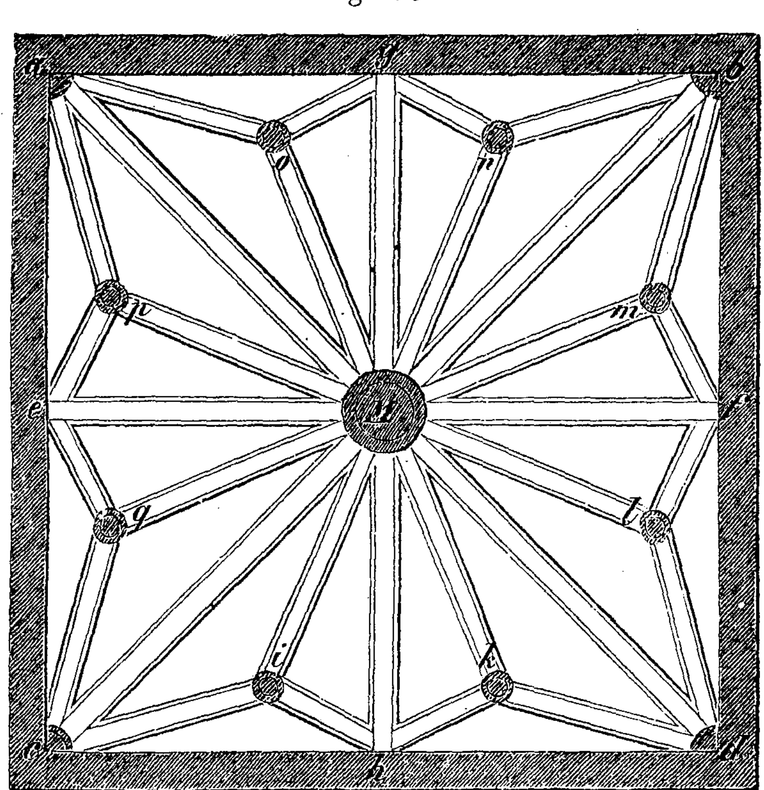
Fig. 133 stellt den einen Theil des Grundrisses. Fig. 132 den Querdurchschnitt, Fig. 134 einen Theil des Längendurchschnitts und Fig. 135 die Profile der Grat- und Gurtenendigung vor.

Die Gewölbe des Mittelschiffes sind doppelt so lang als breit. Es ist dies bei Kirchen das gewöhnliche Verhältniß, welches nicht leicht ver-

bM eingewölbt, und die so entstandenen Kappen, wie aMe, noch wieder durch die Gurte ap und pM verkleinert. Den Namen haben diese Gewölbe von der sternartigen Form, welche die Grate bilden, erhalten.

Im Scheitel stoßen alle diese Grate zusammen, und bilden den Schlußstein M. Man übersieht sehr leicht, daß man sich diesen

Fig. 137.



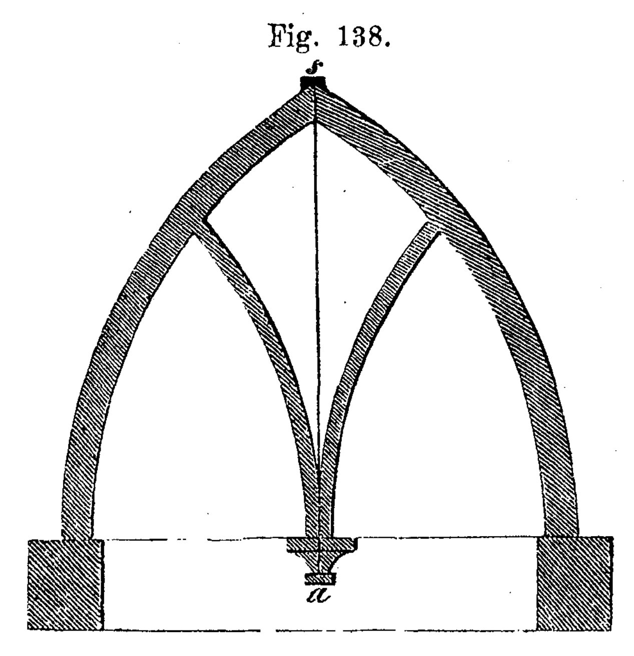
Schlußstein bei jedem Kreuz- und Sterngewölbe als einen eingewölbten Kranz denken kann, so daß also im Scheitel des Gewölbes anstatt des Schlußsteines, ein offenes, beliebig großes Loch verbleibt.

Der um das Loch kreisrund herumlaufende Kranz erhält die Stärke der Gratbogen und in den altdeutschen Kirchen findet man solche Oeffnungen in den Scheiteln der Gewölbe, als Schall- oder Luftlöcher angebracht. Man hat dergleichen Sterngewölbe auch oft nur deswegen angeordnet, um durch die Vermehrung der Gurte der Gewölbefläche eine zierlichere Form zu geben.

Wir haben bei dieser Gelegenheit noch der sogenannten hängenden Gewölbe zu gedenken. Fig. 138 zeigt den Durchschnitt eines solchen.

Man stelle sich das Kreuzgewölbe in seinen Gurten und Graten aufgeführt vor, nur die Kappen fehlen noch. Wenn man nun im

Fig. 138.

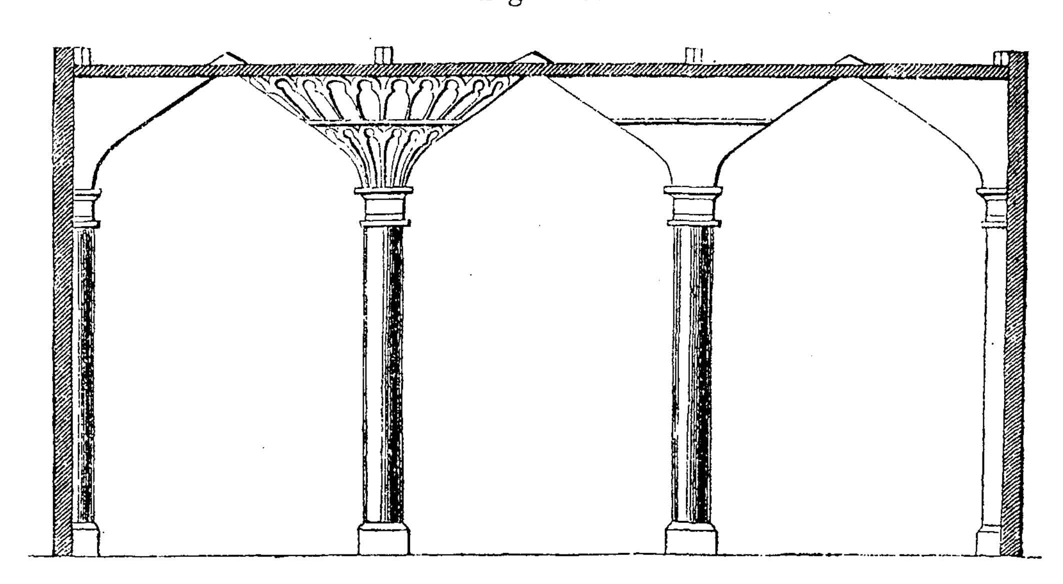


Scheitelpunkte der Grate bei s durch den Schlußstein sich einen eisernen Bolzen sa gehängt denken will, welcher in a einen Consol trägt und von diesem Consol aus wieder Grate nach den ersten Graten und Gurten spannt, und dazwischen Kappen in gewöhnlicher Art einwölbt, so entsteht das geforderte hängende Gewölbe, welches an dem Bolzen sa hängt, und von den zuerst errichteten Gewölbegurten getragen und in der Schwebe gehalten wird.

Es ist eine solche Anordnung nichts weiter als eine Spielerei, welche die Last unnöthig vermehrt, und überdies den inneren Raum des Gewölbes kleiner macht, als er bei gewöhnlicher Anordnung der Kappen geworden wäre.

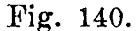
Die Fig. 139—141 zeigen ein sogenanntes Normännisches oder Fächergewölbe. Es hat seinen Namen davon, daß die

Fig. 139.



normännischen Abkömmlinge in England sich dieser Wölbungsart gern und vielfach, besonders bei kleineren Räumen, wie bei Kapellen und Sälen bedienten, und dann von der fächerartigen Form, welche die Gewölberippen (Grate) bilden.

Als Unterschied gegen den hohen altdeutschen Spitzbogen ergiebt sich, daß bei dem normännischen Gewölbe der Bogen aus zwei sich schneidenden Viertheil-Ellipsen gebildet wird (wie sie Fig. 19 und 20 gezeichnet sind). Indessen können derartige Fächergewölbe auch in Viertelkreisen aneinanderstoßen, und die sich bildenden Kämpferlinien dadurch zu Halbkreisen ergänzen, wie z. B. in dem Börsensaal zu Frankfurt a/O, von Stüler erbaut.


Fig. 140.

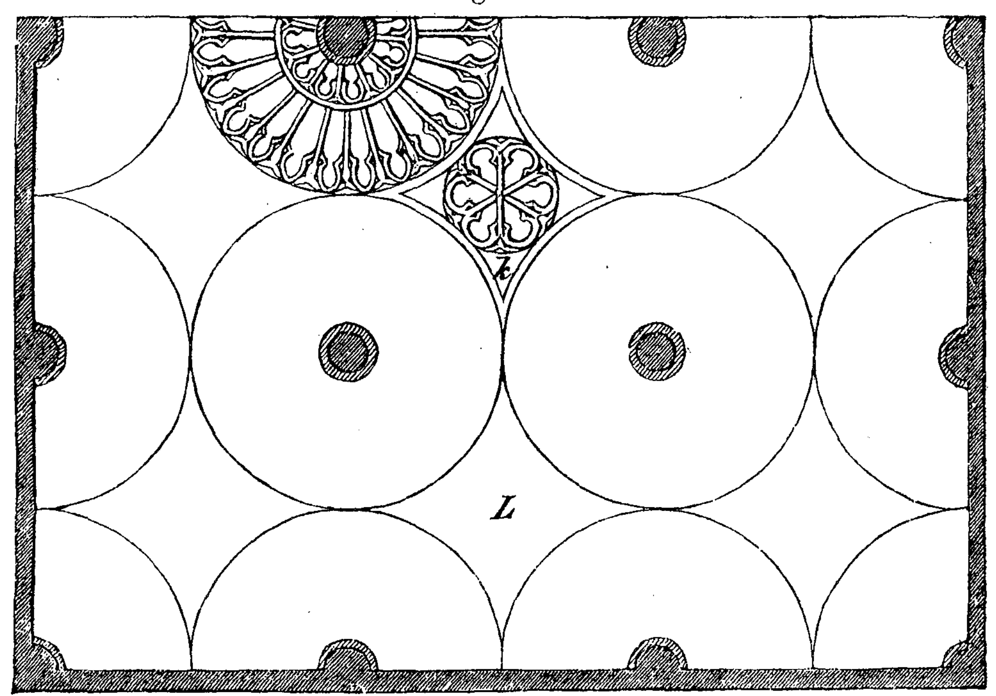
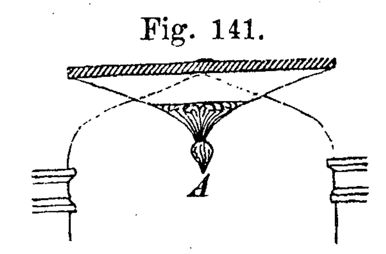


Fig. 140 zeigt den Grundriß, Fig. 139 den Durchschnitt einer solchen Anordnung. Die Gewölbe breiten sich von den sie unterstützenden Pfeilern so lange kreisförmig aus, bis diese Kreise sich gegenseitig berühren. Die deutlichste Vorstellung kann man sich hiervon machen, wenn man sich nach außen stark geschweifte Champagnergläser so aneinander gestellt denkt, daß ihre oberen Kreise sich berühren, die Stiele der Gläser würden dann die Pfeiler, die Schweifungen des Glases oben die Gewölbe bedeuten.

Zwischen je vier solchen Gewölben (oder Gläsern) wird sich ein offener Raum bilden, welcher durch ein besonderes flaches Gewölbe (einen sogenannten Spiegel) geschlossen wird. Um diesem Spiegelgewölbe noch mehr Festigkeit und den Gewölben selbst mehr Spannung zu geben, wird zwischen den vier Kreisbogen der Gewölbe noch ein Kranz eingewölbt, welcher abermals die Gewölbe berührt, wie Fig. 140 bei k zu sehen ist. L zeigt einen der offenen Räume ohne eingewölbten Kranz.

In diese Kränze setzt man bisweilen tief herunterhängende Schlußsteine ein, wie in Fig. 141 bei V ein solcher gezeichnet ist.

Fig. 141.



Die Mittelpfeiler oder Säulen werden nur $1/10$ bis $1/12$ der Spannweite stark, wodurch das Ganze schlank wird und durch die vorstehenden Rippen ein fächerartiges Ansehn bekommt. Die End- oder Strebepfeiler müssen wegen des bedeutenden Seitenschubes der Gewölbe hinreichend stark werden; ferner verursacht die an sich flache Lage der Gewölbe und namentlich der zwischen ihnen befindliche fast scheitrechte Spiegel, sowie die tief herunterhängenden Schlußsteine, daß sie nicht zu den feuersicheren Gewölben gehören. Eine größere Festigkeit erreicht man, wenn man statt des elliptischen Bogens einen Halbkreis- oder Spitzbogen anwendet und sonst das Gewölbe wie vorher construirt.

Die normännischen Gewölbe wurden in neuerer Zeit namentlich bei dem Börsengebäude zu Frankfurt am Main ausgeführt; gewöhnlich werden diese Gewölbe nur bei kleineren Abmessungen in Stein (Ziegeln), sonst aber, bei größeren Maßen immer, in Holz nachgeahmt.

In Stein ausgeführt bedüren sie ebensfalls, wie die Kreuzgewölbe, keiner Verschalung, sondern nur aufgestellter Lehrbogen, um die Richtung des Gewölbes nicht zu verlieren.

§ 14.

Die Topfgewölbe.

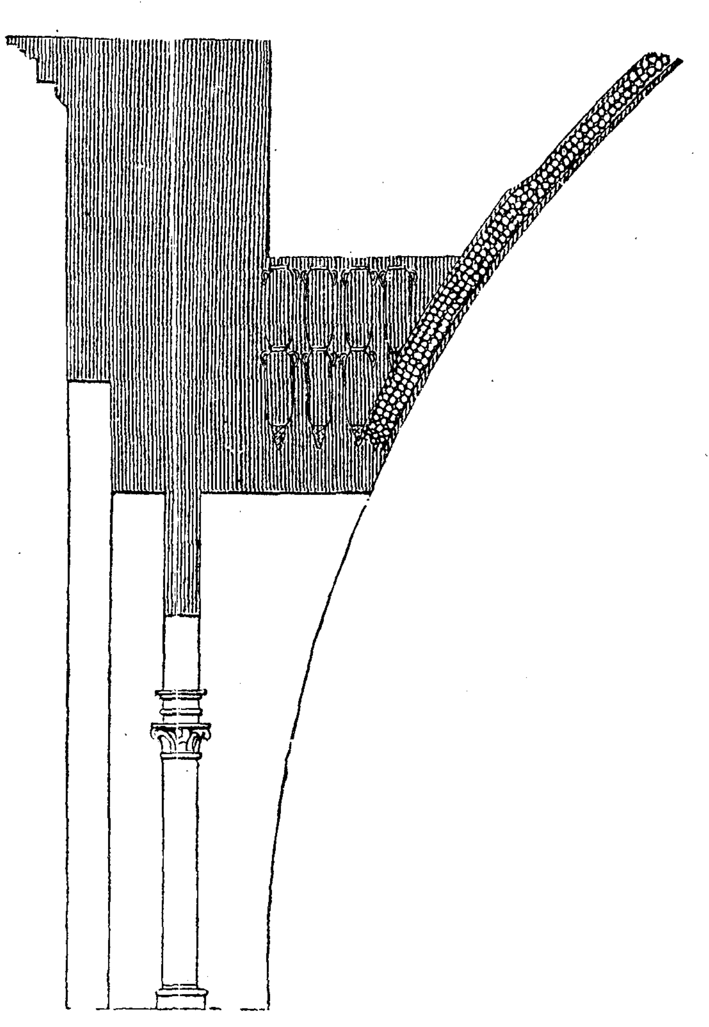
Die Hauptursache der Erfindung von Topf- und Gußgewölben war unstreitig, durch Anwendung vermauerter, hohler Töpfe den Gewölben mehr Leichtigkeit zu geben, wodurch der Seitenschub vermindert wurde, und demnach auch die Widerlager schwächer werden konnten, als wenn man gebrannte Mauersteine oder gar Haussteine zur Wölbung verwendet hätte.

Man hat dergleichen Wölbungen zur Römerzeit sowohl zu Gurtbogen (wie bei Stadtthoren), als auch zu Kuppeln und andern Gewölben benutzt. Die Töpfe haben gewöhnlich die Form eines Cylinders, sind an einem Ende offen, am andern mit einer Spitze versehen, um ineinander geschoben werden zu können. Ihr Durchmesser ist verschieden, die kleinsten haben etwa 5^{zm} Durchmesser, und ihre Länge beträgt etwa $15-18^{zm}$, indeß hatte man auch größere Töpfe,

etwa 90^{zm} lang und etwa $^2/_3$ davon zum Durchmesser, welche zur Hintermauerung der eigentlichen Topfgewölbe angewendet wurden.

Fig. 142 zeigt eine Hälfte des Durchschnitts der mittleren Kuppel in der Kirche St. Vitale zu Ravenna, welche im sechsten Jahrhundert erbaut ist. Der mittlere Raum, welcher, wie die ganze Kirche, im Grundrisse die Form eines regelmäßigen Achtecks hat, ist oben mit

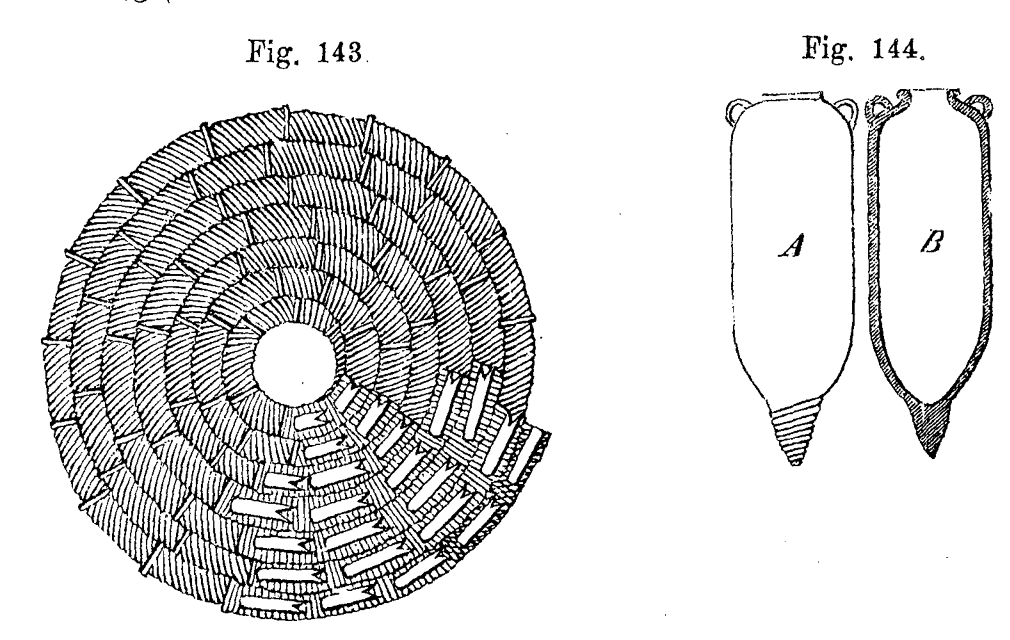
Fig 142.



einem halbkugelförmigen Topfgewölbe von circa $15{,}6^{m}$ Durchmesser bedeckt, das über die anderen Theile des Gebäudes emporragend, eine Laterne bildet. Das Gewölbe besteht oben aus zwei und unten an den Widerlagern aus drei Lagern von Töpfen, die spiralförmig (wie in Fig. 143) ineinander gefügt sind. Die einzelnen Töpfe haben 5^{zm} Durchmesser und $15-18^{zm}$ Länge, sie sind außerhalb schraubenartig gefurcht, und an dem offenen Ende mit einem vorstehenden Rande versehen. Sowohl die Hintermauerung dieser Kuppel, als auch die senkrechten Widerlager derselben sind aus aufrecht stehenden

Henkeltöpfen gebildet (Fig. 144 A und B). Bei A ist ein solcher Topf in der äußeren Ansicht, bei B im Durchschnitt gezeichnet. Sie haben 21 zm Durchmesser und 62 zm Länge. Hier sowohl wie in der Kuppel sind die Zwischenräume der Töpfe mit einem Guß von Puzzolane ausgefüllt.

Fig. 143. Fig. 144.



In neuerer Zeit hat man in Frankreich wieder angefangen, Anwendung von diesen Topfgewölben zu machen, und sie unter anderem vorzüglich dazu benutzt, gerade, feuerfeste Decken daraus zu bilden; da aber solche scheitrechte Gewölbe für größere Räume sich nicht würden frei getragen haben, war man genöthigt, die hohlen Steine oder Töpfe auf eiserne Gerüste zu setzen; die Töpfe wurden mit Gyps vergossen.

Der erste Versuch mit der Erneuerung des Topfbaues wurde in der großen Branntweinshalle (halle à l'eau de vie) gemacht, wo es darauf ankam, über den zur Aufbewahrung des Branntweins bestimmten Kellerräumen möglichst leichte Decken zu construiren, die bei großer Spannung nur schwacher Widerlager bedürfen, und die bei der leichten Brennbarkeit des Branntweins, wenigstens eine so schnelle Verbreitung des Feuers, wie sie bei Holzdecken stattfinden, verhindern.

Diese Gewölbe waren nach einem flachen Kreisstück von etwa 60 Grad Mittelpunktswinkel construirt, die Töpfe standen in der Wölbung aufrecht nach dem Fugenschnitte: Das Gewölbe ist 21 zm stark, die Spannweite beträgt 5 m und die Stärke der Widerlager nur 46 zm.

Man muß aber hierbei nicht vergessen, daß durch das Vergießen der Töpfe mit Gyps gleich von vorn herein, wegen der schnellen

Bindung des Mörtels (Gypses), fast aller Seitenschub aufgehoben wurde.

Die Töpfe selbst hatten hierbei die Form eines hohlen Cylinders, der an beiden Enden geschlossen ist; ihre Länge beträgt 21^{zm}, ihr Durchmesser 10^{zm} und die Stärke der Wände 0,4^{zm}. Ein solcher Topf wird auf einer gewöhnlichen Scheibe mit der Hand gedreht, und nachher oben und unten mit einem bereit gehaltenen Deckel geschlossen. Sobald er fertig ist, bohrt man in dem unteren Theile der Seitenwand ein kleines Loch durch, um der innern Luft beim Brennen einen Ausweg zu schaffen. Zur Aufsetzung des Gewölbes werden leichte Lehrgerüste aufgestellt, diese genau mit Brettern verschalt (in flacher Kappenform) und die Schalung mit Lehm gedichtet, dann werden die Steine so dicht wie möglich gurtweise aneinander gelagert, und hierauf die Zwischenräume mit Gyps vergossen. Die Lehrbogen können schon den Tag nach der Anfertigung weggenommen werden.

Bei der Pariser neuerbauten Börse wünschte man ebenfalls leichte und feuersichere Decken, die aber gerade Flächen bilden sollten.

Die hierzu angewendeten Töpfe sind ohngefähr doppelt so groß wie in der halle à l'eau de vie, aber man hat es für nöthig erachtet, Träger von Stabeisen zur Unterstützung dieser flachen Gewölbe anzubringen. Solche Träger, die aus einem geraden und einem damit verbundenen gebogenen Eisenstabe bestehen, überspannen die etwa 4—4,3^{m} weiten Räume und liegen 1$^{1}/_{4}$^{m} von einander entfernt.

Zwischen diesen Eisenverbindungen sind die Töpfe senkrecht so eingesetzt, daß sie ein scheitrechtes Gewölbe bilden, wobei diejenigen Töpfe, welche gerade auf Querriegel treffen, unterhalb mit einem Einschnitt versehen sind, damit hierdurch ein guter Verband möglich gemacht werde. Alle Zwischenräume sind hierauf mit Gyps vergossen, die untere Ansicht des Gewölbes und der Boden darüber gerade abgeglichen, und letzterer mit Fließen belegt.

Die hohlen Töpfe müssen mit mehreren kleinen Löchern versehen sein, namentlich muß ein solches in dem Boden derselben sein, theils damit der Gyps sich gut einbinde, und damit bei einer entstehenden Feuersbrunst durch die in den Töpfen eingeschlossene Luft (durch die Ausdehnung derselben vermittelst der Hitze) keine Explosion entstehe. Was aber den letzten Punkt betrifft, so würde er nur verhindert werden können, wenn man wenigstens eins der nach unten gekehrten Löcher der Steine offen ließe; denn wollte man sämmtliche

durch irgend einen Bewurf schließen, so würden sie natürlicherweise ganz unwirksam sein.

Wir entnehmen noch Einiges über diesen Gegenstand der Wiener Allgemeinen Bauzeitung von Förster. Man sehe zugleich die Fig. 145—150. „Der Rost einer ordinären Decke besteht in der Regel (wie in Fig. 145) aus einem eisernen Bogen aa, welcher an beiden Enden, wo er in der Mauer befestigt wird, umgebogen werden muß,

Fig. 145.

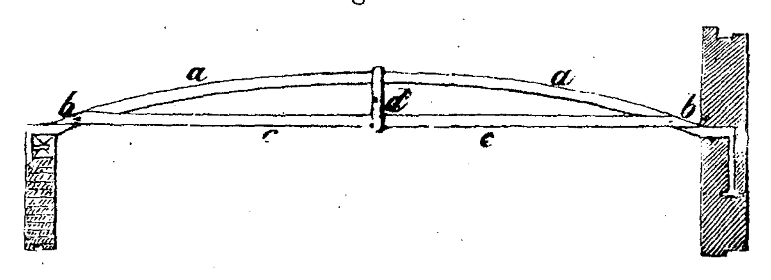
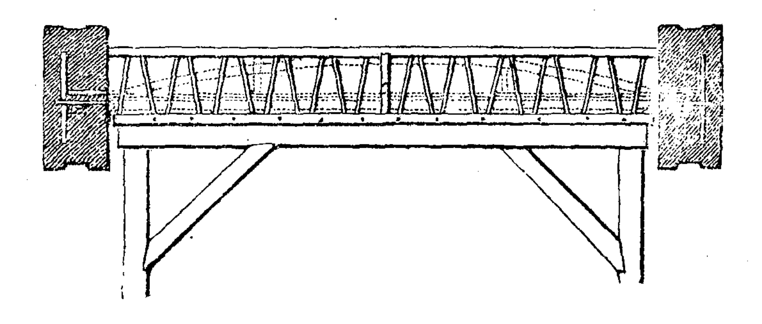


Fig. 146.



um ihn verankern zu können. Der Bogen erhält sich als solcher, indem bei bb zwei schwache eisere Schließen cc angebracht sind, die durch ein Band d in der Mitte des Bogens aufgehängt werden, das verschraubt wird."

„Die auf solche Weise verfertigten Roste werden beiläufig 4^m weit von einander in dem Gemäuer befestigt, und die Zwischenräume von je zwei Rosten durch eiserne Schließen, von gleicher Dicke, wie die am Roste, und mit ihnen parallel laufend, in kleinere Theile getheilt. Alle diese Schließen werden dann der Quere nach durch Eisenbänder verbunden."

„Sind alle diese Eisentheile zusammengesetzt, so erhält man ein vollständiges Gerüst, wie in Fig. 147; dasselbe wird unterschalt und alsdann werden die Felder sofort mit hohlen Ziegeln von $17-20^{zm}$ Höhe und $9-11^{zm}$ im Durchmesser vollgesetzt und mit Gyps vergossen."

Fig. 147

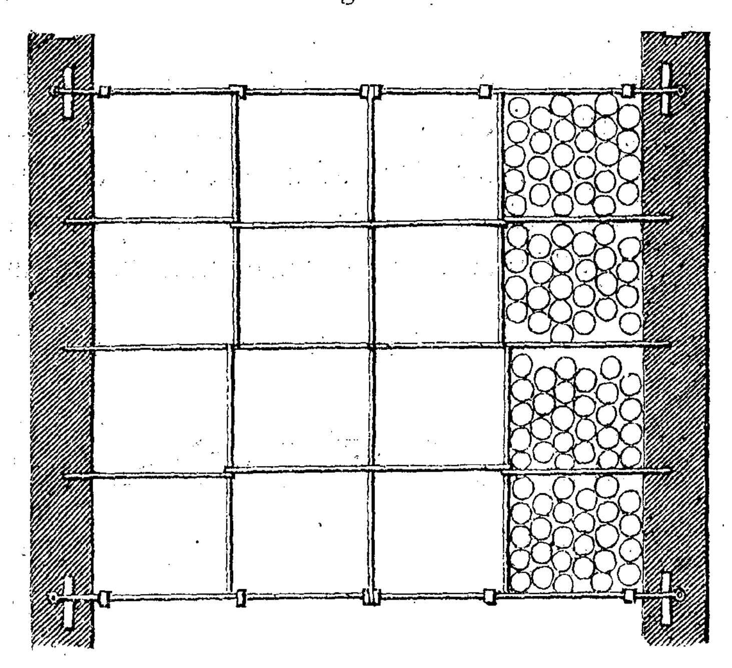


Fig. 148.

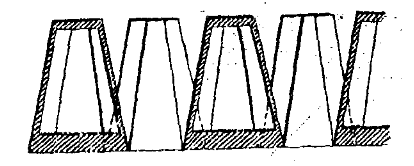


Fig. 149.

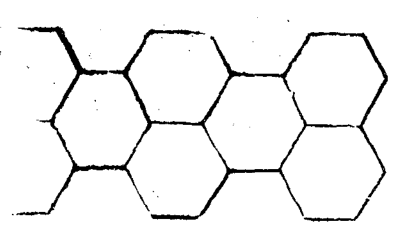
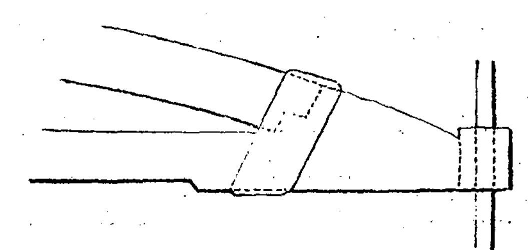


Fig. 150 zeigt einen der Bogen am Ende mit der Schließe und dem Anker. Fig. 146 zeigt eine der Topfreihen, mit dem darüber befindlichen Fließenfußboden und dem darunter befindlichen Lehrgerüst, auf dem die Schalungsbretter liegen. Fig. 148 zeigt solche Töpfe in der Ansicht und im Durchschnitt und Fig 149 dieselben in ihrer Stellung im Grundrisse.

Fig. 150.



Bei Kuppelgewölben über runde und vieleckige Räume stellt man etwa in 1,8—2,5^{m} Entfernung eiserne Rippen auf und wölbt dazwischen mit Töpfen einen Bogen aus. Jede dieser Rippen steht unten am Widerlager in einem eisernen Schuh und diese Schuhe werden bei großen Kuppeln durch einen ringsherum laufenden Anker, einen sogenannten Kettenanker, verbunden und dadurch am Verschieben gehindert. Oben legen sich diese Rippen gegen einen eisernen

Kranz, der die Größe der Lichtöffnung hat. Zwischen diesen Rippen die bei großen Kuppeln aus mehreren Stücken verbunden werden, wölbt man noch einen Bogen aus, der einen etwas kleineren Radius als die Kuppeln hat. Bei der Kuppel des königlichen Schlosses zu Berlin, welche eine Weite von beinahe 22^{m} hat, sind 24 solcher Rippen gestellt und die Töpfe sind unten 29^{zm}, in der Mitte 23^{zm} und oben 18^{zm}.

Im neuen Museum zu Berlin wurden ebenfalls Topfgewölbe nach einem flachen Bogen (Stichbogen) zwischen eisernen Balken aufgeführt. Statt der Töpfe kann man auch prismatische hohle Steine anwenden, was in Paris immer allgemeiner wird, da diese hohlen Steine dort billiger geliefert werden, als die vollen gewöhnlichen Steine und da man die eisernen Balken in den gewöhnlich vorkommenden Längen fertig kaufen kann.

§ 15.

Die Gußgewölbe.

Gußgewölbe ohne Anwendung von Töpfen rden in der Art ausgeführt, daß man zuvörderst ein Lehrgerüst aufstellt, und dies nach der vorgeschriebenen Bogenform mit Brettern verschalt. Auf diese Verschalung wird der aus leichtem Gestein (Bimsstein, Tuff, Schlacken) mit Puzzolanemörtel gemischte Béton schichtenweise von unten nach oben aufgetragen, so dick als die Wölbung werden soll.

Man muß hierbei besonders Acht haben, daß man nicht zu viel Mörtel, sondern möglichst viel Steine verwende, die aber vom Mörtel umhüllt sein müssen und daß man eine nächst obere Schicht nicht eher auftrage, bis die nächstuntere getrocknet ist, welches bei dem sehr schnell trocknenden Mörtelguß in wenig Tagen geschieht. Bringt man die neue Lage zu früh auf, oder gießt man z. B. ein ganzes Gewölbe mit einem Male, so giebt es, wegen des gewaltsamen Zusammenziehens der Masse bei dem Trocknen, leicht Risse und Sprünge.

In Calabrien pflegt man ganze Brückenbogen, wenn sie nicht groß sind, auf ähnliche Art zu gießen. Ebenso machen sich die armen Leute daselbst ihre Hütten. Es werden zu einer Brücke die Steine so aufgeschichtet, daß sie die Form des Brückenbogen darstellen, über diese schichtet man kleineres Gestein und vergießt dasselbe mit Puzzolanemörtel. Nachdem das Ganze trocken ist, räumt man die unteren Steine fort nnd die Brücke steht fertig da.

Bei Hütten verfährt man ganz ähnlich. Man schichtet zuvörderst große Steine kegelförmig aufeinander, auf diese bringt man schichtenweise einen Guß, aus kleinen Steinen und Puzzolane bestehend, so daß man aber da, wo die Thür hinkommen soll, eine Oeffnung beläßt. Ist der Guß trocken, so räumt man durch die Oeffnung den Steinkegel innerhalb fort, und man erhält einen kegelförmig gewölbten Raum, welcher einem Bienenkorbe nicht unähnlich ist.

Ist bei einem Gußgewölbe der Raum sehr groß, so theilt man den Raum durch Gurte und Quergurte aus Ziegelsteinen in kleinere (rechteckige) Räume, läßt die Gurte austrocknen und füllt alsdann die Zwischenräume mit Gußwerk. Hierdurch wird, da der Raum in viele kleine Theile getheilt ist, das ungleiche Setzen so wie das Reißen des Gusses verhindert und doch eine bedeutend größere Leichtigkeit des Ganzen erzielt. Was die Stärke der Widerlager solcher Gußgewölbe betrifft, so kann man sie etwa $^3/_4$ so stark machen, als sie bei gewöhnlicher Steinconstruction geworden wären.

Zieht man eiserne Hülfsanker so lange ein, bis der Guß trocken ist (worauf man die Anker wieder entfernen könnte), so brauchen die Widerlagsmauern nicht stärker zu werden, als sie vermöge ihrer Höhe (ohne Rücksicht auf das Gewölbe) zu sein brauchen, da ein gutes Gußgewölbe, welches ohne Risse und Sprünge erhärtet ist, gleichsam nur als ein ausgehöhlter Stein anzusehen ist, und keinen Seitenschub, sondern nur einen senkrechten Druck ausübt.

Die Stärke der Gußgewölbe wird um etwas stärker zu nehmen sein, als wenn man es ganz von Mauersteinen gemacht hätte, da der natürliche Zusammenhang der Gußmasse vor dem Setzen und Trocknen geringer ist als bei den Backsteinen.

Zur noch größeren Erleichterung der Guß- und auch anderer Gewölbe hat man die Gewölbe mit regelmäßigen Vertiefungen in Reihen über einander (Cassetten, Cassaturen) versehen, welche außerdem besonders zur Zierde dienen, und namentlich bei kuppelartigen Gewölben vorkommen. Durch die Verminderung der Masse des Gewölbes wird gleichzeitig ein etwas geringerer Seitenschub erzeugt.

Zu erwähnen ist noch, daß man auch Versuche gemacht hat, Gewölbe aus gestampfter Erde (Pisé) zu fertigen. Obgleich dieselben durch Einzelne sehr angepriesen worden sind, so scheinen sie doch wenig Fortgang gehabt zu haben, wie sich auch wohl aus der Natur des Materials schließen läßt. Die geringste darauf wirkende Nässe mußte sie nothwendig zerstören.

Unter allen Gußgewölben nehmen jedenfalls diejenigen aus Zementbéton die erste Stufe ein.

Zu den Cementgewölben wählt man gewöhnlich die Form der preußischen Kappe, doch kann man auch jede andere Gewölbeart zur Anwendung bringen, und ist dann nur die betreffende Schalung darnach einzurichten. Zur Schalung benutzt man am besten frisch geschnittene schmale Bretter von gleicher Breite, welche, in Folge der noch in ihnen befindlichen Flüssigkeit, sich wenig oder gar nicht werfen, wenn die Gußmasse aufgebracht wird. Hat man keine frische Bretter, so lege man dieselben nicht dicht aneinander, sondern lasse Zwischenräume von 1ᵐᵐ. Die Bretter werden von Lehrbogen getragen, die in Zwischenräumen von 0,60—0,80ᵐ angeordnet werden. Bei den Schalungen ist darauf zu sehen, daß dieselben möglichst fest sind, damit dieselben bei dem Stampfen des Bétons nicht zu sehr schüttern.

Bei bisher ausgeführten Zementgewölben wurden nachfolgende Mischungsverhältnisse in Anwendung gebracht:

6 Volumentheile Zement,
35 " Kohlenasche und
7 " Sand.

oder 1/7 Zement auf 1 Theil Kohlenasche und Sand.

1 Volumentheil Zement in aufgelockertem Zustande,
2 " Sand und
4 " Steinschlag bis zur Faustgröße.

Ferner:

1 Volumentheil resp. 1 Tonne festgepackten Zement,
3 " " 3 " Sand und
6 " " 6 " Steinschlag.

Bei diesen Zusammensetzungen kann schon nach 8 Tagen abgerüstet werden, doch ist es besser, die Schalung 14 Tage stehen zu lassen. Erschütterungen sollte man diesen Gewölben erst dann zumuthen, wenn dieselben ganz erhärtet sind, was in circa 4—6 Wochen der Fall sein wird.

Nachdem die Rüstung aufgestellt ist, erfolgt die Mischung der Bétonmasse und kommt es hierbei besonders auf größte Gleichmäßigkeit und auf gute Näßung an. Es muß die fertige Masse gleich an demselben Tage zur Verwendung kommen, und ist das ganze Gewölbe aus einem Guß gefertigt worden. Bei dem Aufbringen der Masse auf die Schalung ist zu beachten, daß die Bétonmasse

entsprechend ihrer verschiedenartigen Zusammensetzung, nicht gleichmäßig schwindet und ist deshalb durch Versuche die Höhe festzustellen, bis zu welcher die Mischung in lockerem Zustande auf die Schalung zu bringen ist.

Braucht man Steinkohlenasche und Sand als Zusatzmateralien, so wird man, da sich die Asche beim Stampfen des Bétons um circa die Hälfte ihres ursprünglichen Volumens comprimiren läßt, für ein Gewölbe, welches nach dem Rammen 0,10^{m} Stärke erhalten soll, die lockere Masse 0,20^{m} hoch auftragen. Benutzt man dagegen Steinschlag, so ist die Comprimirung, die die Masse durch das Stampfen erleidet, viel geringer und beträgt nur $^1/_4$ bis $^1/_3$ der Höhe. Die Masse braucht demnach für Gewölbe von 0,10^{m} Stärke nur 8,10 + 0,025 resp. 0,10 + 0,33 = 0,125 resp. 0,23^{m} hoch aufgetragen zu werden.

Es ist zweckmäßig, wenn man mit dem Ausbreiten der Masse an einer Stirnseite des Gewölbes beginnt, und sie in Streifen von gleicher Breite an einander reiht. Die Mischung wird mit einer leichten Handramme zusammengetrieben und dann mit einem Klopfer von Eichenholz so lange bearbeitet, bis die Feuchtigkeit unten durch die Schalung tropft, und auch oberhalb auf dem Gewölbe austritt.

Die Zementbéton-Gewölbe wurden bisher in nachfolgender Spannweite ausgeführt.

Spannweite 2,80^{m}, Pfeilhöhe $^1/_{10}$ der Spannweite, Stärke 0,10^{m},
" 3,60^{m}, " $^1/_{12}$ " " " "

Bei mehreren, in Holzminden ausgeführten Gebäuden ist die Spannweite der Kellergewölbe 3,45^{m}, als Stichhöhe ist aber bei einigen nur $^1/_{12}$ der Spannweite genommen, während bei anderen die Decken horizontal ausgeführt wurden.

Gewölbe aus Stampfmörtel. Prochnow hat bereits aus Kalk und Sand gestampfte Wölbungen ausgeführt. Auch Herr Baumeister Hofmann (Neustadt in Westpreußen) hat vielfach Gewölbe nach Form der böhmischen Kappen aus Stampfmörtel ausgeführt und in der Zeitschrift für Bauwesen, redigirt von Erbkam, Berlin 1850 und 1860 u. s. w., Mittheilungen darüber gemacht.

Die zu überwölbenden Räume sind durch Backsteingurtbögen in Räume von 2$^1/_2$^{m} Quadrat getheilt. Weder an den Gurtbögen noch an den Widerlagsmauern ist ein schiefes Widerlager für die Kappen eingehauen, so daß die Kappen in lothrechten Flächen an die Widerlager stoßen. Dies war nur deshalb thunlich, weil die breiige Kalk-

sandmasse (aus 1 Theil Kalk und 15 Theilen Sand bestehend) sobald das überflüssige Wasser durch das Stampfen herausgetrieben ist, beim Trocknen gar nicht mehr schwindet. Denn das Schwinden des Mörtels verursacht nicht der Sand, sondern hauptsächlich das in dem überschüssigen Kalk, und in den kleinen Kalkklümpchen enthaltene Wasser; überschüssiger Kalk ist aber bei der obigen, gut durchgearbeiteten mageren Masse nicht vorhanden. Von diesen Gewölben haben einige Kappen an den Widerlagern 16 ^{zm}, in der Diagonale $22^{1}/_{2}$ ^{zm} Pfeil und sind im Scheitel der Diagnnale 10 bis 13 ^{zm}, im Scheitel an den Widerlagern etwa 16 ^{zm}, und in den Kämpfern der Ecken 21 — $23^{1}/_{2}$ ^{zm} stark; andere sind im Scheitel der Diagonale nur 8 ^{zm}, im Scheitel an den Widerlagern etwa 10 ^{zm} stark, haben dagegen 21 ^{zm} Pfeilhöhe erhalten. Das Einstampfen erfolgt nicht in Lagen; im Gegentheil, um solche Lagen zu vermeiden, erscheint es zweckmäßig, den zu stampfenden Mörtel so feucht zu nehmen, daß das Wasser beim Stampfen aus der Verschalung tropft.

Herr Hofmann hat ferner auch die Kappen von Kreuzgewölben über Räume von 4 ^{m} Quadrat aus Stampfmörtel herstellen lassen. Die Gratbögen dazu waren wie gewöhnliche Gurtbögen aus Ziegelsteinen gewölbt; sie hatten weder einen scharfen Grat, noch war ein Widerlager für die Kappen eingehauen.

Obwohl man die einmal gestampfte Masse, wenn das Gewölbe einstürzen sollte, nachträglich wieder durcharbeiten und aufs Neue verwenden kann, so empfehlen wir doch dem Praktiker, nicht bis an jene Grenze, sondern mit der größten Vorsicht bei etwaiger Ausführung von Stampfmörtelgewölben vorzugehen. Ganz irrig wäre es, wie aus dem Gesagten zu ersehen ist, wenn man durch einen größeren Kalkzusatz eine größere Festigkeit eines Stampfmörtelgewölbes erwarten wollte, da das Gewölbe sich dann erst recht senken würde nnd einstürzen könnte. Bei Anwendung von Portland-Cement hat sich ein Zusatz von 6 Theilen Sand zu Stampfmörtelgewölben gut bewährt. Hingegen wenn man Wölbsteine durch Mörtel verbindet, ist ein so magerer Kalk nicht zweckmäßig.

In Gußkalk, nach Rydin's Angabe lassen sich ohne Zweifel Gewölbe errichten, wenn man das, was wir vorhin darüber erfahren haben, berücksichtigt.

Es stehen uns demnach eine hinlängliche Anzahl Wölbungsarten zu Gebote, von denen die aus gebrannten Mauerstein, wegen der bequemen Form und wegen der Festigkeit der Steine die allgemeine

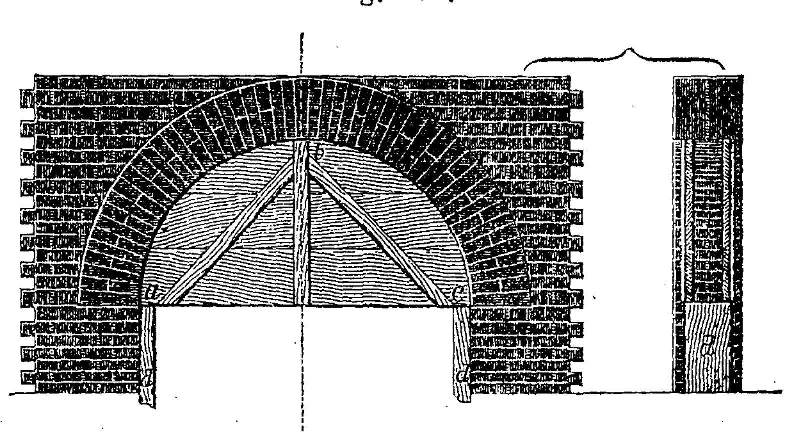
Anwendung haben. In Rücksicht der bequemen Ausführung werden sie durch Gewölbe aus hohlen Steinen und aus Gußwerk, in Rücksicht auf Festigkeit, von Gewölbe aus festem Haustein noch etwas übertroffen, weshalb diese sich noch mehr zu schweren Brückengewölben, jene sich mehr zu unbelasteten inneren Gewölben eignen.

§ 16.
Die Wölbungen der Thür- und Fenstersturze, scheitrechte Bogen 2c.

Den Sturz der Thüren und Fenster kann man aus Holz bilden, wie bei Fachwerksgebäuden, oder aus einem einzigen Werkstück, wenn man mit Haustein baut, oder man kann ihn auch von Bruch- oder Mauersteinen in Mörtel wölben und von letzteren soll hier besonders die Rede sein. Man berücksichtige bei diesen Wölbungen aber auch das, was § 5 über die Verstärkung der Widerlager gesagt worden ist, sobald dieselben verhältnißmäßig zu schwach sind.

Fig. 151 zeigt die Ansicht und den Durchschnitt eines halbkreisförmigen Bogens über einer Thüröffnung von $1^1/_2{}^m$ lichter Weite.

Fig. 151.



Der Bogen ist 1 Stein stark und eben so breit. Die Steine müssen wenigstens abwechselnd keilförmig gehauen werden, wie es bei den ab und bc zu sehen ist, es taugt nichts, wenn der Fugenschnitt ganz allein durch den Kalk hervorgebracht wird. Im Gegentheil sollen alle Fugen oben und unten gleich stark seiu (nicht klaffen). Anderenfalls ist es besser den Bogen in Ringen von $1/_2$ Stein Stärke zu wölben. Vergl. § 12, 5. Um den Bogen wölben zu können, werden zwei Lehrbogen abc neben einander aufgestellt, die aus einzelnen gesunden Brettstücken, mittelst quer übergenagelter Leisten oder

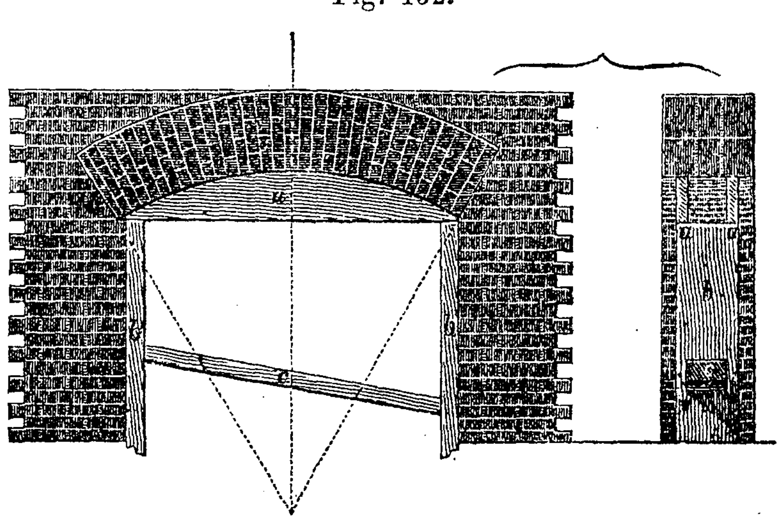
Latten verbunden und nach einem Halbkreise ausgeschnitten sind. Zur gemeinschaftlichen Unterstützung der beiden Lehrbogen stehen zu beiden Seiten die Bohlenstücke dd.

Zu bemerken ist, daß, wenn man bei Rundbögen für Thüren oder Fenster einen sogenannten Anschlag parallel herumführt, man dann die Thür oder das Fenster nicht vollständig aufmachen kann. Soll der Halbkreis ein feststehendes Fenster erhalten, was man bei Thüren auch Oberlicht nennt, so hat das nichts weiter auf sich; sonst aber muß man den Anschlag entweder sehr groß machen oder senkrecht etwa bis zum Scheitel des äußeren Halbkreisbogens aufführen und kann ihn dann mit einem flachen Bogen überspannen. Bei Hausthüren thut man jedoch besser, die Thür an die innere Mauerfläche anschlagen zu lassen, wodurch sie mehr gegen Schlagregen geschützt ist.

Dieselben Rücksichten in Betreff des Anschlages sind auch bei flacheren und bei Stichbögen zu nehmen, hingegen nicht bei scheitrechten Bögen.

Figur 152 stellt eine Maueröffnung nach einem flachen Kreisstück überwölbt vor, ebenfalls 1,5^{m} breit. Der Bogen ist 1$^{1}/_{2}$ Stein stark

Fig. 152.

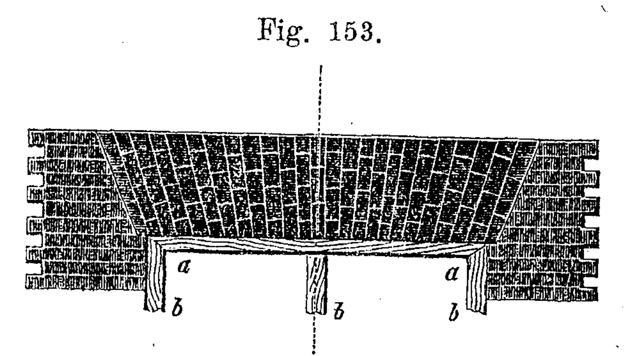


und eben so breit. Jeder von den beiden Lehrbogen besteht nur aus einem einfachen Brettstück a, welches in Form eines Kreisabschnittes nach der innern Wölbungslinie ausgeschnitten ist, und durch zwei andere starke Bretter bb an beiden Enden unterstützt ist, welche letztere durch die Spreize c auseinander gehalten werden.

Fig. 153. Ein zwei Stein starker, scheitrechter Bogen, ebenfalls 1,5^{m} breit, aus keilförmig gehauenen Steinen. Jeder scheitrechte

Bogen senkt sich etwas und erhält deshalb 2ᶻᵐ Stich. Der Mittelpunkt des Bogen liegt da, wo die verlängerten Linien der Fugenschnitte die Mittellinie der Oeffnung schneiden. Dieser Mittelpunkt muß immer so tief liegen, daß die gehauenen Steine, wo sie am schmalsten sind, mehr als die Hälfte ihrer Stärke behalten, noch besser aber so tief, daß man nicht mehr nöthig hat, die Steine viel zu hauen.

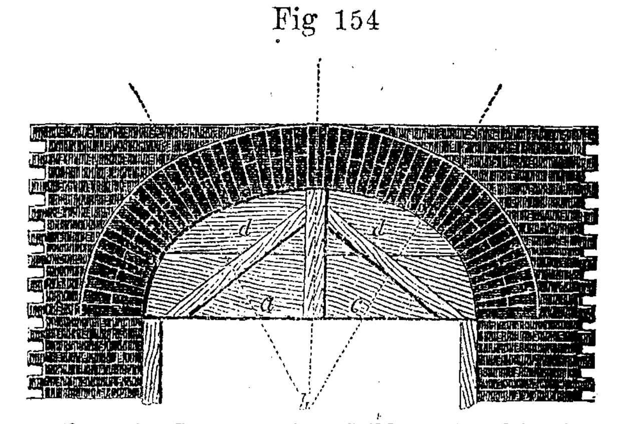
Fig. 153.



Als Lehrgerüst dient hierzu ein wagerecht liegendes Brett aa, welches durch die drei senkrecht stehenden Bohlenstücke bbb unterstützt wird.

Fig. 154 stellt die Wölbung eines gedrückten, 1 Stein starken Bogens vor, über eine $1^1/_2$ᵐ weite Oeffnung. Die Bogenform ist eine Korblinie, welche aus den Mittelbpunkten abc beschrieben ist.

Fig 154

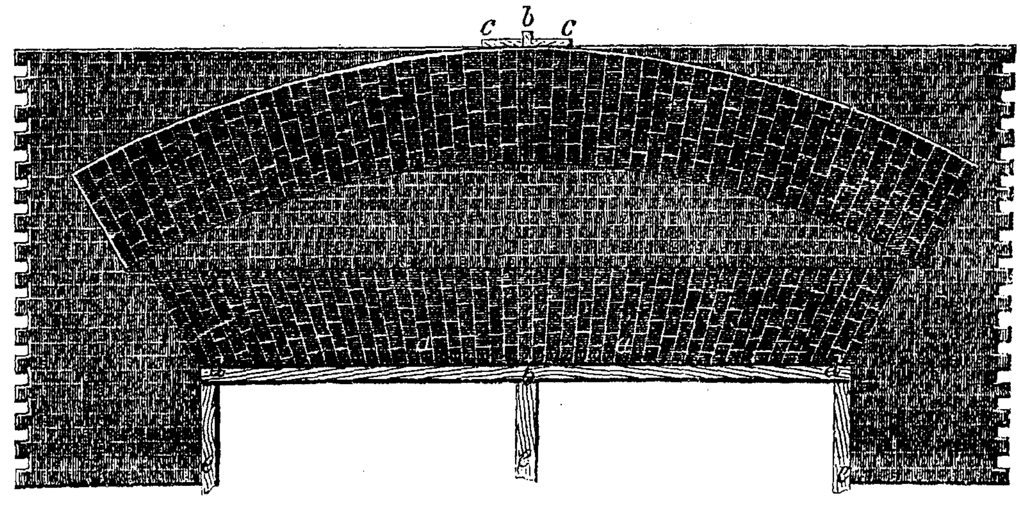


Der aus ordinairen Brettstücken zusammengefügte Bogen dd wird an beiden Enden von den senkrecht gestellten Stützen getragen. Betreff des Korbbogens ist noch zu bemerken, daß man denselben im Aeußern der Gebäude nicht gern verwendet, da der Halbkreis, aber auch der Stichbogen ein besseres Aussehen haben, als der gedrückte Bogen.

Fig. 155. Ein scheitrechter, $1^3/_4$ Stein starker Bogen über eine 3ᵐ weite Oeffnung.

Damit derselbe nicht die ganze Last des darüber stehenden Mauerwerks zu tragen habe, was besonders bei einer so großen Spannung den Einsturz des Bogens nach sich ziehen würde, so ist über demselben ein flacher Bogen eingewölbt, welcher dem unteren die Last abnimmt, und deswegen ein Ablastebogen genannt wird. Der Zwischenraum, welchen der Ablastebogen und der scheitrechte bilden, wird nachträglich ausgemauert. Außerdem wird die Last des scheitrechten Sturzes an dem Ablastebogen mittelst eiserner Anker bb, durch welche oben und unten starke eiserne Splinte aa und cc

Fig. 155.



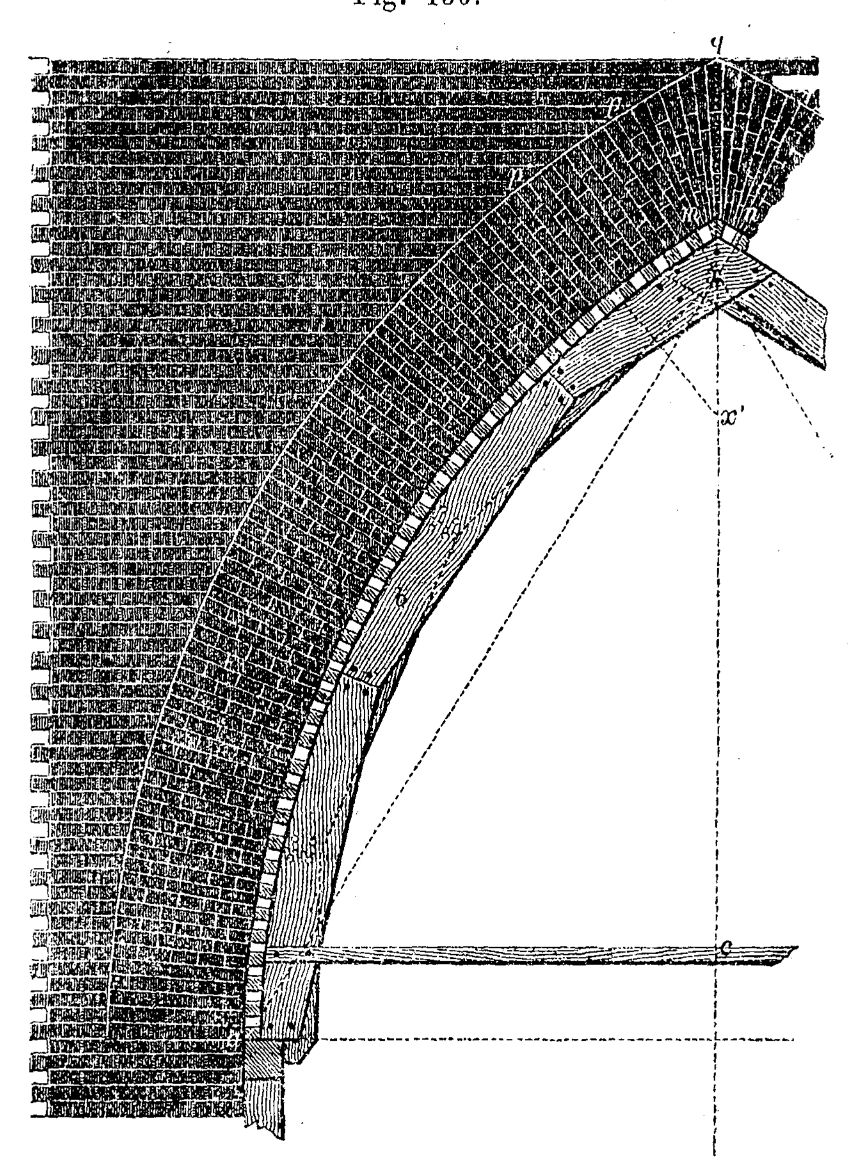
gesteckt sind, aufgehängt, so daß hierdurch jede Senkung des Sturzes verhindert wird. Da der untere Bogen vom Ablastebogen mit gehalten wird, so ist es zweckmäßig, ihn nicht zu stark und aus möglichst leichten Steinen herzustellen.

Zum Lehrgerüste dient eine wagerecht gelegte, 10^{zm} starke Bohle d d, welche durch die drei Stützen e e e getragen wird. Zuerst wölbt man den scheitrechten Bogen und legt den Anker b b gleich mit ein. Alsdann wird der Ablastebogen gewölbt. Das Lehrgerüst des scheitrechten Bogens bleibt so lange stehen, bis beide Bogen hinlängliche Festigkeit durch Austrocknen erhalten haben. Im Uebrigen ist es zweckmäßig, statt dieser Anordnung lieber von vorn herein einen Stichbogen zu wählen, wenn man nicht den Halbkreis anwenden kann, was noch besser ist.

Fig. 156 zeigt die Wölbung eines Spitzbogens, über eine Oeffnung von $4{,}4^{m}$ lichter Weite. Jeder von den beiden Bogen, die im Scheitelpunkte spitz zusammenlaufen, ist aus dem gegenüberliegenden Kämpferpunkte a mit einem Halbmesser beschrieben, welcher der lichten Bogenweite gleich ist; daher laufen auch die verlängerten Gewölbefugen eines jeden Gewölbeschenkels in dem ihm gegenüberliegenden Kämpferpunkte zusammen. Hieraus entspringt aber, wie man aus Fig. 156 sehen kann, für die Steinconstruction im spitzen Scheitel eine Schwierigkeit, indem hier die Fugen nicht mehr nach den genannten Punkten gerichtet sein können; sind nämlich pm und rn die letzten Fugen, welche verlängert nach den beiden Kämpferpunkten a a gehen, und schneiden sich ihre Richtungen in dem obern x, so ist dies der Centralpunkt für die Gewölbefugen, die in der Gegend des Scheitels innerhalb n m p q r treffen.

Da nun des Steinverbandes wegen die Ziegelsteine zu sehr verhauen werden müssen, um die in der Figur angegebene Construction auszuführen, so würde es sehr zweckmäßig sein, den ganzen Gewölbetheil nmpqr aus einem einzigen Werkstück auszuhauen, und als

Fig. 156.



einen zusammenhängenden Schlußstein zwischen den beiden Gewölbeschenkeln zu versetzen. Auch kann man den Schlußstein aus gebranntem Thon anfertigen lassen, was namentlich dann vorzuziehen sein würde, wenn viele solcher Spitzbogen von gleicher Größe zu mauern sind, und das Gebäude keinen Abputz (Bewurf) erhält, sondern die Steinconstruction außerhalb sichtbar bleibt.

Ein anderes Verfahren den Schluß leicht herzustellen, ohne die Ziegel stark zu verhauen, besteht darin, daß man den Theil pqrnm in einzelnen übereinander gewölbten, $1/2$ Stein starken Ringen

herstellt und nachträglich die Fugen zusammenreibt, so daß das Ganze wie ein Schlußstein aussieht, den man alsdann etwas heller anstreicht, als die Farbe der übrigen Ziegel ist. Will man das nicht, so ist es bequemer, etwa daß untere x′ statt des Mittelpunktes x (Fig. 152) zu nehmen und von p′ ab, den Fugenschnitt nach dem unteren x′ gehen zu lassen.

Der Lehrbogen bb ist aus doppelt zusammengeschlagenen Brettstücken gefertigt, und mit seinen untersten Enden bei aa auf wagerechte Rahmstücke, die von lothrechten Stielen getragen werden, aufgeklaut. Außerdem steht der Bogen auf Keilen. Die Spannlatte c, welche beide Bogenschenkel zusammenhält, darf nicht weggelassen werden.

Da der Breite des Bogens wegen hier quer über beide Lehrbogen (den äußern und innern) eine Schalung von Breit- oder Lattenstücken aufgelegt wird, so muß man bei Aufreißung des Lehrbogens die Stärke dieser Schalung, von seiner lichten Weite auf beiden Seiten, vom Halbmesser abziehen und danach die Bogenlinie bestimmen.

Diese Vorsicht ist in allen Fällen nöthig, wo eine Schalung auf die Bogen zu liegen kömmt, weil sonst die Bogen bis unmittelbar unter das Gewölbe reichen würden und keine Schalung mehr aufliegen könnte. Im Uebrigen vergleiche man § 6.

Die Steinverbände für die bisher gegebenen Bogenstärken sind in den abwechselnden Gewölbeschichten, in den folgenden Figuren dargestellt. Dieselben entsprechen durchaus den Pfeilerverbänden, nur daß man hier die Constructionen mit Dreiquartiren denjenigen mit den zerbrechlichen Riemstücken vorzieht.

Fig. 157. Steinverbände zu Mauerbogen von der Stärke eines Steines, und zwar:

A. Zwei Schichten bei einer 1 Stein breiten Leibung.
B. " " " " $1^1/_2$ " " "
C. " " " " 2 " " "
D. " " " " $2^1/_2$ " " "

Fig. 157.

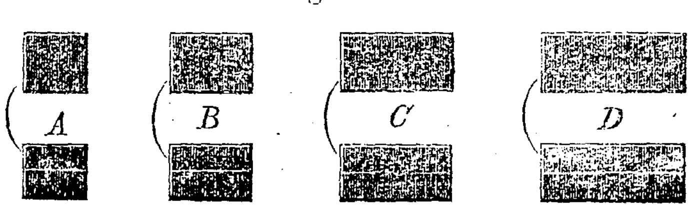


Fig. 158. Steinverbände zu Mauerbogen von $1^1/_2$ Stein Stärke, und zwar:

A. Zwei Gewölbschichten bei einer 1 Stein breiten Leibung
B. " " " " $1^1/_2$ " " "
C. " " " " 2 " " "
D. " " " " $2^1/_2$ " " "

Fig. 158.

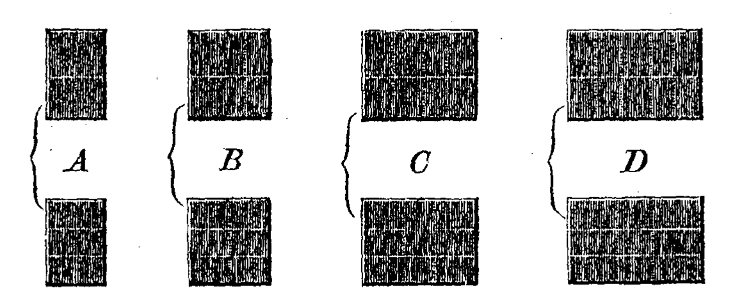


Fig. 159. Verbände zu zwei Stein starken Mauerbogen, und zwar:

A. Zwei Schichten bei einer $1^1/_2$ Stein breiten Leibung
B. " " " " 2 " " "
C. " " " " $2^1/_2$ " " "

Fig. 159.

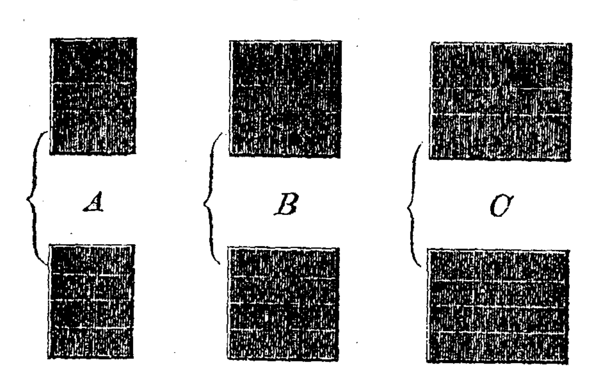


Fig. 160. A. Verband für $2^1/_2$ Stein starke Bogen.
Zwei Steinschichten bei einer 2 Stein starken Leibung,
Fig. 161. B. Verband für $2^1/_2$ Stein starke Bogen.
Zwei Steinschichten bei einer $2^1/_2$ Stein breiten Leibung.

Fig. 160. Fig. 161.

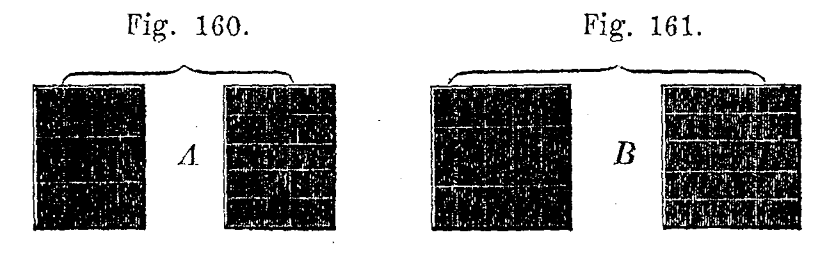


Fig. 162 zeigt ein Fenster von $1^1/_4$ m lichter Weite und $2^1/_2$ m im Lichten hoch, in einer Mauer von $1^1/_2$ Stein Stärke. A ist die äußere Ansicht, B der mittlere Querdurchschnitt und C die innere Ansicht.

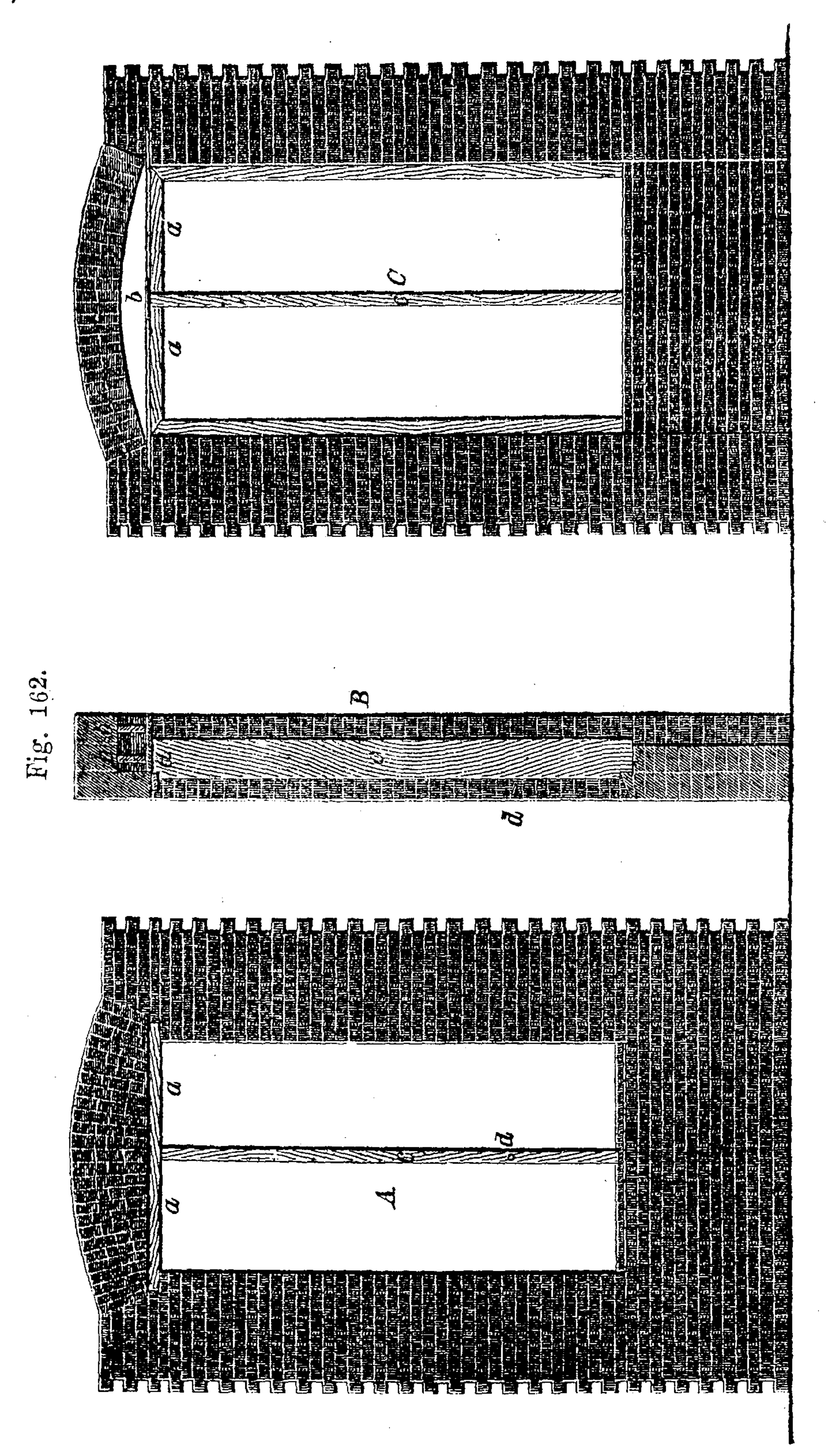


Fig. 162.

Um in der Frontansicht einen geraden Fenstersturz zu erhalten, ist außerhalb scheitrecht $1^{1}/_{2}$ Stein dick, innerhalb aber nach einem flachen Kreisbogen gewölbt. Das nach der Breite des Fensters eingelegte Brett aa, welches der Steg genannt wird, dient als Lehre für die Wölbung des scheitrechten Sturzes und ist nur 13^{zm} breit. Um den inneren Fensterbogen wölben zu können, wird der Lehrbogen b Fig. 154 etwa $4-5^{zm}$ über der Unterkante des geraden Sturzes aufgestellt, und sowohl dieser wie der Steg durch das Brettstück c in der Mitte unterstützt. Auf dieser Stütze ist der Mittelpunkt d Fig. 162 A und B, aus welchem der Lehrbogen beschrieben wird, genau bemerkt, daß ein Nagel eingeschlagen werden kann und in diesem eine Schnur befestigt, welche dem Maurer die Richtung der Fugen angiebt. (Geübte Maurer bedürfen dieser Schnur in der Regel nicht.)

Fig. 163 zeigt die Construction eines Fenstersturzes, der sowohl außerhalb als innerhalb scheitrecht gewölbt ist. Hierbei ist A die äußere Ansicht, B der Durchschnitt durch die Mitte, und C die innere Ansicht.

Diese Art der Fensterstürze ist bei gewöhnlichen Maßen eben so stark, wie die in Fig. 162 dargestellte und man gewinnt dabei den Vortheil, die Fensterzarge ohne die geringste Schwierigkeit einsetzen zu können, und den Vortheil eines besseren Ansehens, als wenn der äußere und innere Sturz verschieden sind.

Fig. 164. Ein auf beiden Seiten senkrechter Fenstersturz, in einer $2^{1}/_{2}$ Stein starken Mauer. A die äußere Ansicht, B der Durchschnitt, C die innere Ansicht.

Oberhalb des Sturzes ist durch den Vorsprung der Steine ab (in Fig. 164 B) die Fensterbekrönung angegeben, welche vorgemauert und beim Abputz der Mauerfront, zugleich mit den übrigen Theilen der Fenstereinfassung, nach der Lehre (Chablone) in Putz gezogen wird.

Fig. 165 zeigt die Anordnung eines Fenstersturzes, bei welcher die Seiteneinfassung und der Sturz aus Werkstücken bestehen; A äußere Ansicht, B Querdurchschnitt und C innere Ansicht.

Der Sturz wird aus zwei übereinander gelegten Sandsteinstücken a und b gebildet, wovon das untere a an beiden Enden auf den ebenfalls aus Sandstein gefertigten Sandsteinfassungen cc aufliegt und mit diesen das Fenstergewände bildet. Das obere Stück b dient als Fenstergesims und wird von dem Steinmetz nach gegebener Chablone ausgearbeitet.

Ueber diesem aus Haustein gefertigten Sturz ist der flache Ablastebogen dd in der Mauer eingewölbt, welcher den Zweck hat, den Sturz von der Last des Mauerwerks, welches darauf steht, zu befreien. Der übrige Theil des Mauerwerks ist scheitrecht überwölbt, dami auch im Innern ein gerader Fenstersturz entstehe.

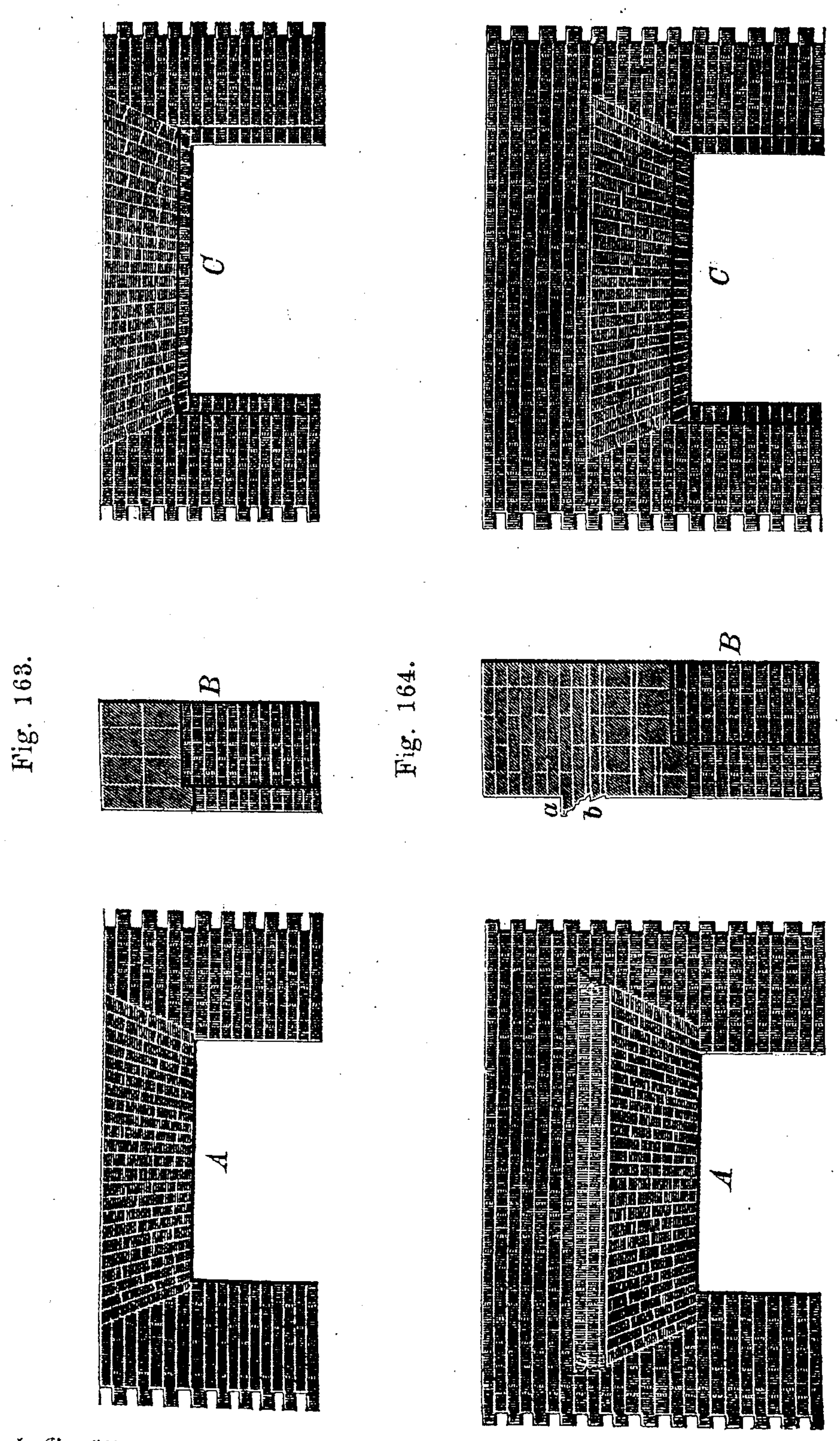


Fig. 163. Fig. 164.

Bei dem Fig. 156 gezeichneten Fenstersturze findet außerhalb ein scheitrechter, innerhalb aber ein flacher Kreisbogen statt, welch letzterer aber durch ein eingelegtes Bohlenstück gerade ausgeglichen wird. A ist die äußere Ansicht. Der im Innern angebrachte flache Bogen muß so hoch über der Unterkante des äußeren geraden Sturzes anfangen,

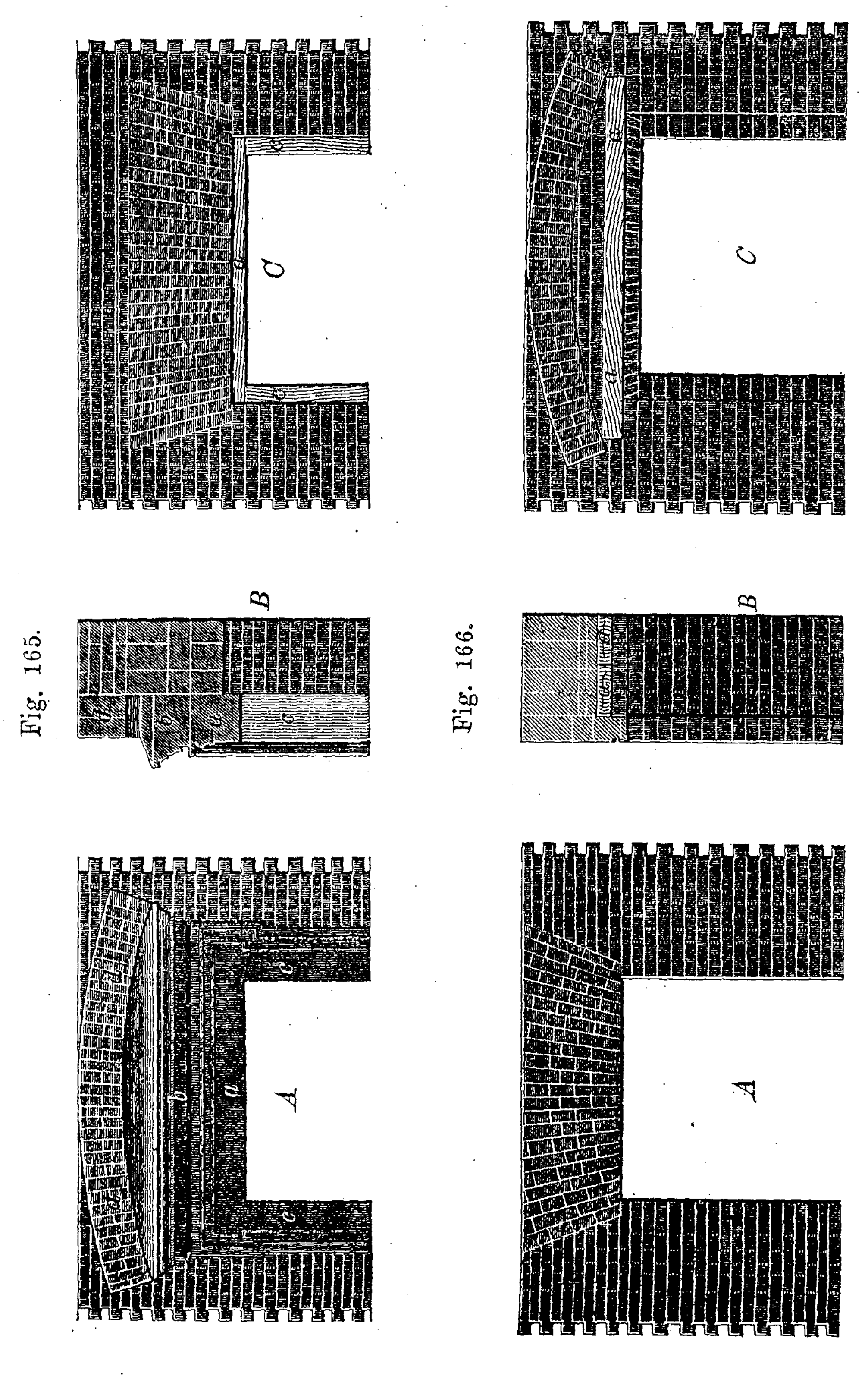


Fig. 165.
Fig. 166.

daß nicht blos ein hinreichend großer Fensteranschlag, sondern auch noch für das Bohlstück a a Platz übrig bleibt, welches in einer Stärke von etwa 10^{zm} aus gesundem Eichenkernholz angefertigt und nach der Breite der Fensteröffnung eingesetzt wird. Die untere Ansicht des eingesetzten Bohlenstückes kann entweder gerohrt und geputzt werden, oder man kann darin eine Füllung anbringen, welche mit den, an den Seiten befindlichen Fensterladen in Uebereinstimmung steht.

Eine Hauptregel der Bögen, sowohl aus Backstein als Sandstein, ist, daß dieselben die ganze Stärke der betreffenden Mauer zur Breite erhalten müssen.

Der scheitrechte Bogen aus Backstein darf nicht mehr als circa 1,5^{m} frei gespannt, und muß dann mindestens 1$^{1}/_{2}$ Stein stark werden. Ruhen aber auf ihm größere Belastungen, durch Mauern, Balkenlagen rc., so sind dieselben durch einen über den scheitrechten Bogen gespannten zweiten Bogen aufzufangen, wodurch der scheitrechte Bogen nur sich selbst und das wenige über ihm befindliche Füllmaterial zu tragen hat, Fig. 167. Ist diese Belastung aber noch immer zu schwer, so wird der scheitrechte Bogen mit einer Eisenstange an den Entlastungsbogen aufgehängt.

Außer dem geraden Sturz können die Fenster und Thüren mit allen Bogenformen überdeckt werden und können dieselben bei den Rohbauten mit profilirten und ornamentirten Steinen verziert werden. Häufig besteht der Fenstersturz aus einem Sandsteinblocke und damit der Druck des Mauerwerks ihn nicht durchbreche, wird ein Entlastungsbogen nach Fig. 168 und Fig. 169 darüber gespannt.

Fig. 167.

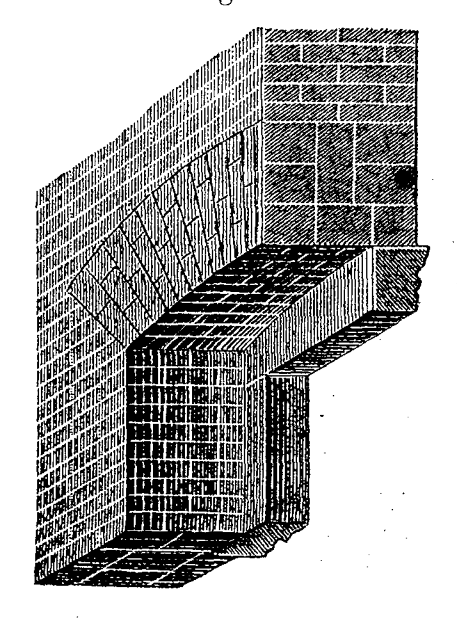
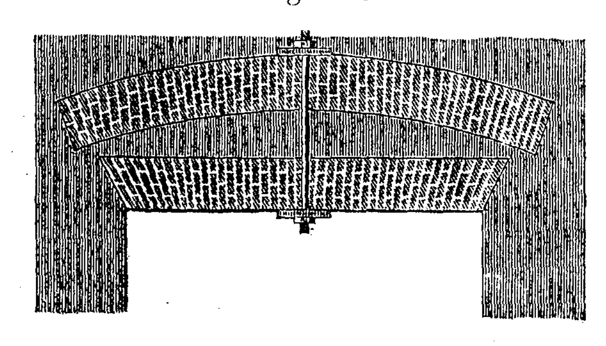


Fig. 168.



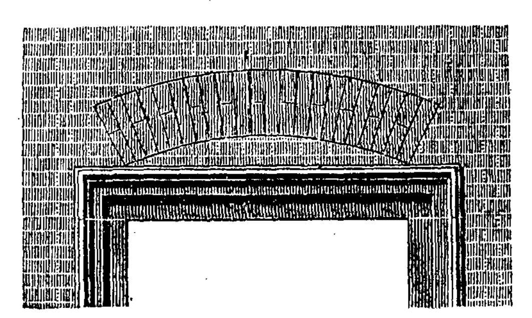
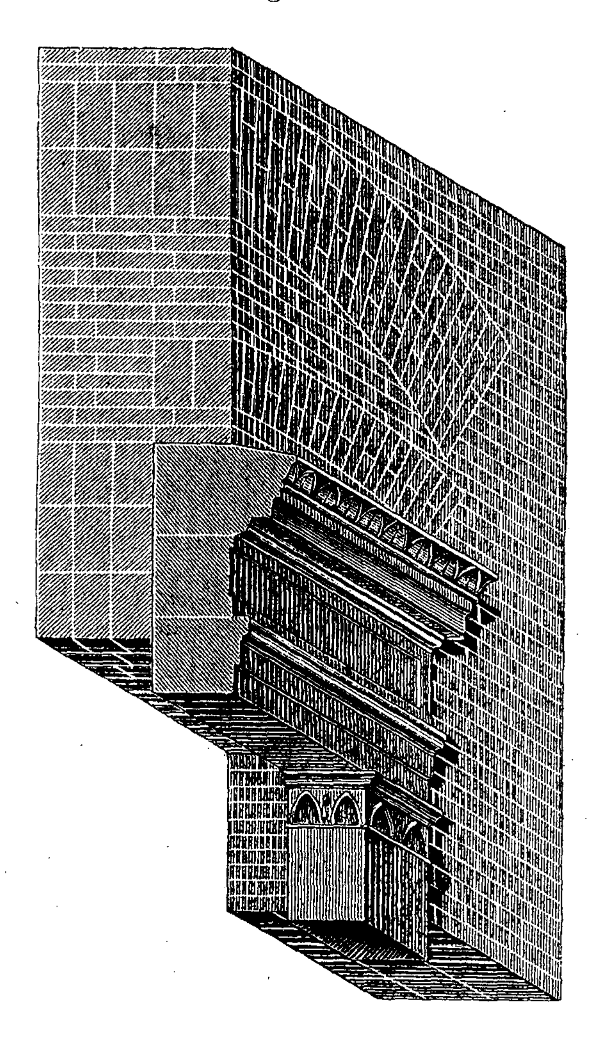


Fig. 169.

Bei größeren Thor- und Fensteranlagen werden zwei Entlastungsbögen übereinander, von verschiedenen Pfeilhöhen angelegt. Fig. 170.

Soll Sandsteinarchitectur durch Mörtelputz von außen nachgeahmt werden, so springen, ähnlich wie das Gesims, einzelne Steinschichten vor, welche nachher mit der Chablone

Fig. 170.



profilirt werden, Fig. 171, dann wird auswendig ein gerader Sturz, hingegen inwendig ein Stichbogen angelegt.

Werden die Thür- und Fenstersturze aus Schnittsteinen gebildet so sind die Centralfugen etwas zu brechen. Wegen der geringen Tragfähigkeit der Sandsteinbogen ist der Kreissegmentbogen mehr zu empfehlen.

Nach Fig. 172—174 ist hierbei die obere Kante des Wölbsteins gradlinig, da sonst spitze Winkel entstehen, welche streng zu vermeiden sind. Dieser Grundsatz ist auch bei den halbkreisförmigen Bogen zu beachten. Die Bögen aus Schnittsteinen dürfen **keine** ankerartig gestalteten Wölbsteine haben, da außer dem unnöthigen Materialverlust bei dem Anfertigen noch der Nachtheil entsteht, daß in Folge eines Setzens des Gebäudes die Ankersteine leicht brechen. (Fig. 173.)

Fig. 171.

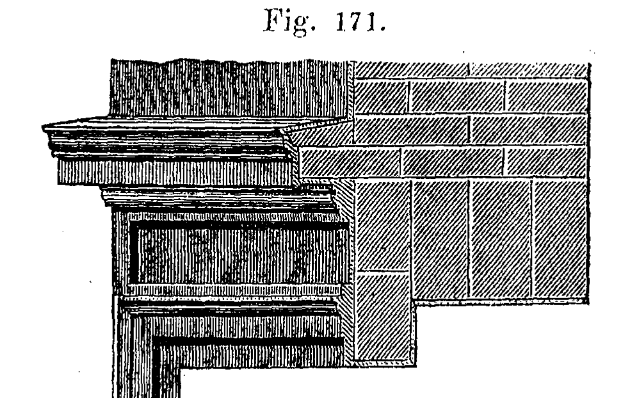


Fig. 172.

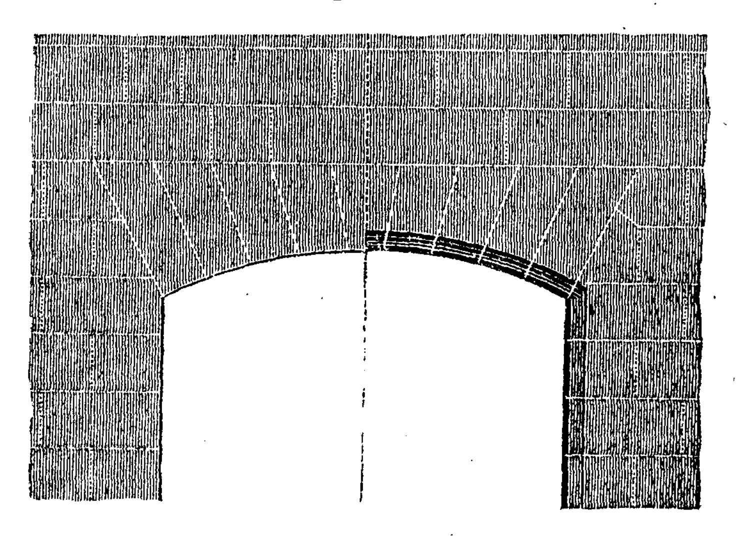
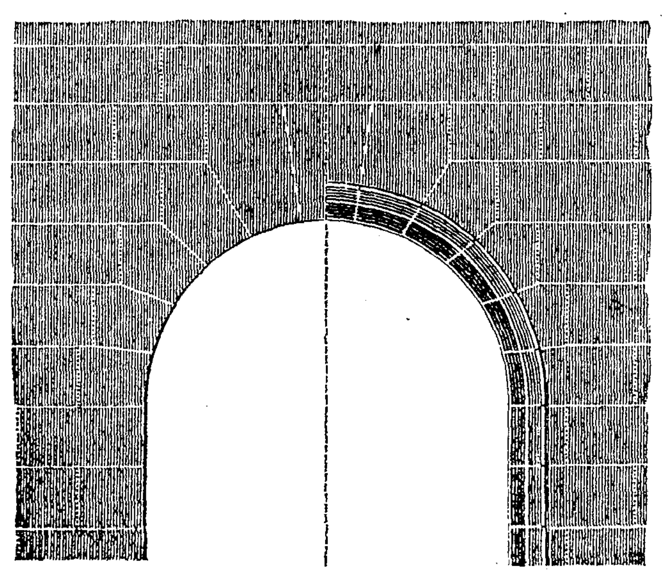
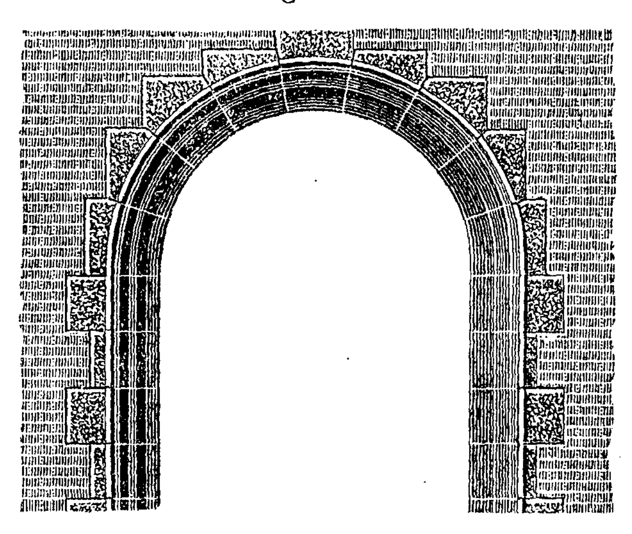


Fig. 173.



In sandsteinarmen Ländern kommt es häufig vor, daß nur der Fensterbogen aus Sandstein hergestellt wird, die Mauerfläche hingegen geputzt wird. In solchen Fällen werden die Wölbsteine nach Fig. 174 bearbeitet.

Fig. 174.



Große scheitrechte Wölbungen bei Thorwegen sind möglichst zu vermeiden und durch Kreisbogen zu ersetzen; andernfalls muß man aber, namentlich, wenn sie nahe an die Fronteckn der Gebäude kommen, die Widerlager vormauern und zur Tragung des Bogens, je nach der Stärke der Mauer eiserne Stangen unterlegen. Durch diese Tragestangen, welche mit Splinten an jeder Seite versehen sind und zugleich die Verankerung des Bogen bilden, läßt man in der Mitte einer jeden einen eisernen Bolzen senkrecht durch den Ablastebogen gehen, oben werden Splinte durchgeschoben, so daß der scheitrechte Bogen in der Mitte sich weder senken, noch der Anker wegen nach der Seite ausweichen kann, In neuester Zeit wendet man bei weiten geraden Thorwegsturzen und ähnlichen Fällen alte Eisenbahnschienen als Tragebalken an, welche an den Seiten versplintet und überwölbt werden.

Um diese Eisenträger nicht unnütz zu belasten, pflegt man das darüber befindliche Mauerwerk, wie bei Thür- und Fensteröffnungen, mittelst Entlastungsbogen abzufangen, siehe Fig. 175. Die wirksamste Form für Entlastungsbögen ist der Halbkreis, dessen Verwendung jedoch nur bei den Zwischenmauern möglich ist, der zwischen den Etagefenstern selten genügende Höhe zu seiner Herstellung ist.

Fig. 176 zeigt die Anwendung derartiger Entlastungsbögen bei einem fünfstöckigen Gebäude. Sie sind als Segmentbögen eingemauert,

Fig. 175.

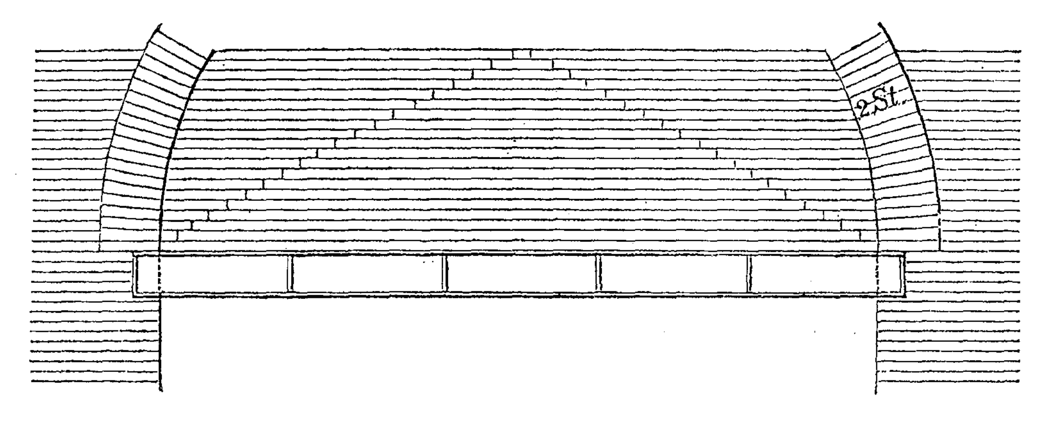
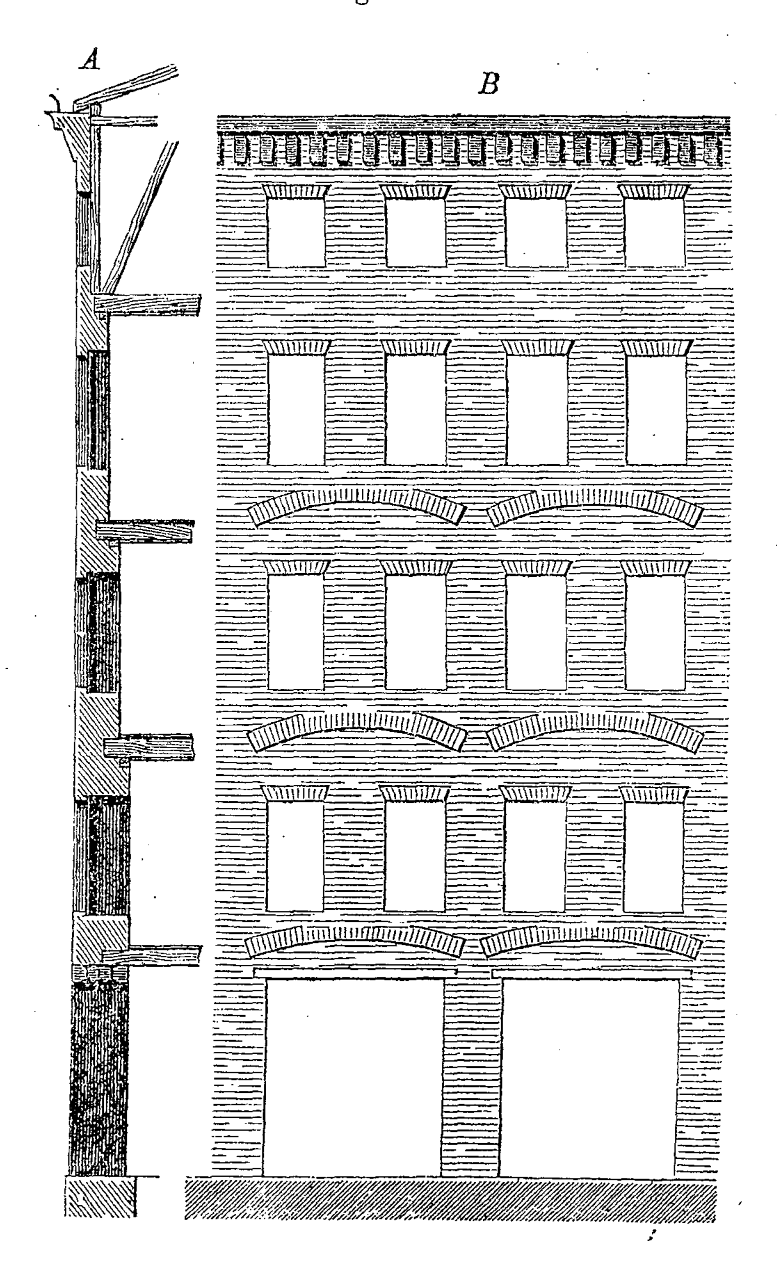


Fig 176.



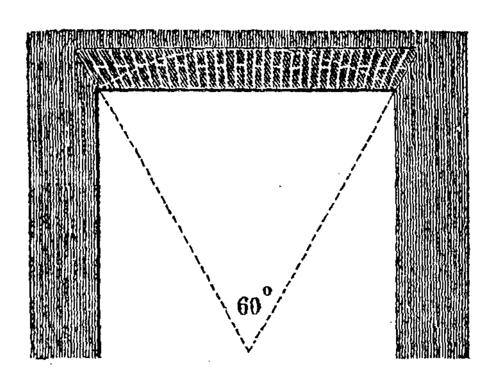
und beträgt die mittlere Bogenstärke $1^1/_2$ und die untere 2 Stein. Die großen Räume im Parterre sind mit gußeisernen Trägern überdeckt, und ebenfalls entlastet.

Die Mauerung über freischwebenden resp. eisernen Balken muß stets im Kreuzverband geschehen, weil die Bruchlinie dieses Verbandes in schräger abgetreppter Linie liegt, im Gegensatz zu den Blockverband, bei den sie sich senkrecht und zahnförmig gestaltet, und in Folge dessen die Vertheilung der Belastung in dieser Richtung stattfinden würde.

Die üblichen Dimensionen der Bögen in Umfassungs- und Mittelmauern bei drei- bis vierstöckigen Gebäuden sind folgende:

Bei einer Spannweite.	Breite der Bögen im Scheitel.		
	halbkreisförmiger Bogen.	Ueberhöhte oder Spitzbögen.	Gedrückte Bogen bis $^1/_8$ der Pfeilhöhe.
bis circa $1{,}90^m$	1 Stein.	$^1/_2$ Stein	$1^1/_2$ Stein.
von circa $2-3^m$	$1^1/_2$ "	1 "	$1^1/_2-2$ "
von circa $3{,}5-5{,}75^m$	2 "	$1^1/_2$ "	$2-2^1/_2$ "
von circa $6-8{,}5^m$	$2^1/_2$ "	$1^1/_2-2$ "	$2^1/_2-3$ "

Fig. 177.



Größere Bögen als circa 11^m pflegt man im Hochbau nicht zu machen; diese erhalten $^1/_{15}$ bis $^1/_{12}$ der lichten Weite zur Stärke. Die Stärke der scheitrechten Bögen erhält man, wenn bei einem Mittelpunktswinkel von 60° ein Halbkreis zu Grunde gelegt wird. Fig. 177.

Für die Widerlagsstärke der belasteten Bögen lassen sich folgende Abmessungen beim Entwurfszeichnen zu Grunde legen:

überhöhte und Spitzbogen . $\frac{1}{5^1/_2}$ bis $\frac{1}{6}$ der Spannweite,

halbkreisförmige Bögen . . $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{5^1/_2}$ " "

flache Bögen mit einer Pfeilhöhe von mindestens $^1/_4$ der lichten Weite . . . . . . $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{4^1/_2}$ " "

flache Bögen mit einer Pfeilhöhe von mindestens $1/8$ der Lichtweite . . . . $\frac{1}{3^1/_2}$ bis $1/4$ der Spannweite,
scheitrechte Bögen . . . . $1/3$ bis $1/4$ „ „

Wenn die Widerlagsmauer mehr als circa 3^m beträgt, so werden obige Abmessungen um $1/6$ der Höhe verstärkt.

§ 17.

Die graphischen Constructionen bei Gewölben, d. h. die Ermittelungen der Durchdringungslinien (der Schild- und Diagonallinien 2c.) bei den wichtigsten Gewölbearten.*)

Alle Gewölbeformen bestehen aus krummen Flächen, die nach bestimmten geometrischen Gesetzen erzeugt werden, oder sie sind aus mehreren derselben zusammengesetzt. Diese Flächen müssen immer von solcher Beschaffenheit sein, daß das Gewölbe praktisch ausführbar ist.

Ferner sollen die einzelnen Begrenzungs- und Erzeugungslinien dieser Flächen von der Art sein, daß dieselben mit leichten Hülfsmitteln aufgezeichnet werden können und auch in der Ausführung wenig Schwierigkeiten hervorrufen, weshalb z. B. Korbbögen den Ellipsen vorzuziehen sind

Alle Gewölbeformen lassen sich in Beziehung auf die geometrischen Gesetze, nach denen sie erzeugt sind, folgendermaßen eintheilen:

a) Gewölbeformen, die aus Cylindern oder Kegelflächen gebildet sind; diese heißen im Allgemeinen Tonnengewölbe; dann deren Zusammensetzungen und Verbindungen, wie z. B. Kreuzgewölbe, Klostergewölbe, Sterngewölbe 2c.

b) Gewölbeformen, durch Rotationsflächen gebildet; diese heißen im Allgemeinen Kugelgewölbe, Kuppelgewölbe, böhmische Gewölbe 2c., dann auch deren Verbindungen.

Zu bemerken ist, daß die Drehachse immer durch den Schwerpunkt der Grundfläche des zu überwölbenden Raumes gehen muß; es können aber auch Gewölbeformen vorkommen, die nach Rotationsflächen gebildet sind, deren Drehachse jedoch in den Ecken der Grundfläche liegen, wie z. B. die Fächergewölbe.

c) Verbindungen von Tonnengewölben mit Kuppelgewölben; dann solche Gewölbeformen, welche sich ihrer Entstehung nach entweder gar

*) Aus Wanderley, Handbuch der Bauconstructionslehre.

nicht oder nur zum Theil auf eine der zwei erstgenannten Eintheilungen zurückführen lassen, z. B. windschiefe Flächen, Schraubenflächen 2c.

a) Die Cylinder- und Kegelflächen.

Eine Cylinderfläche entsteht, wenn eine gerade Linie, eine Curve stets berührend, sich fortbewegt und dabei immer parallel mit ihrer ersten Lage bleibt.

Die gerade Linie heiß die Erzeugende, die Curve hingegen die Leitlinie. Ist die Curve ein Kreis oder eine Ellipse, und steht deren Ebene senkrecht auf der Erzeugenden, so entsteht ein kreisförmiger oder elliptischer Cylinder, und die durch den Mittelpunkt des Kreises oder der Ellipse gedachte Gerade heißt Achse oder Drehachse des Cylinders.

Man kann sich eine Cylinderfläche auf eine zweite Art entstanden denken, indem sich nämlich eine Curve an der genannten Achse so fortbewegt, daß sie immer parallel ihrer ersten Lage bleibt.

Bei dieser Erzeugungsart ist die Achse die Leitlinie und die Curve die Erzeugende.

Bewegt sich nun nach diesem Gesetze ein Halbkreis, dessen Verbindungslinie der Endpunkte horizontal ist, an einen durch dessen Mittelpunkt gehenden Geraden fort, so entsteht die Leitungsfläche für das:

Halbkreisförmige Tonnengewölbe.

Die verschiedenen Benennungen, welche die einzelnen Theile dieses Gewölbes bekommen, werden hier nicht wiederholt, da sie schon in der I. Abtheilung „Mauerconstruction" mitgetheilt wurden.

Das halbkreisförmige Tonnengewölbe geht über in das: Stichbogen- oder Kapppengewölbe, wenn dessen Wölbungslinie ein Kreissegment ist.

Die Pfeilhöhe desselben kann dann $1/_{6} - 1/_{12}$ der Spannweite betragen.

Ist die Wölbungslinie eine halbe Ellipse, so heißt das Gewölbe ein: Elliptisches Tonnengewölbe, und je nach der horizontalen Lage der großen oder kleinen Achse unterscheidet man, ein flaches oder ein überhöhtes elliptisches Gewölbe.

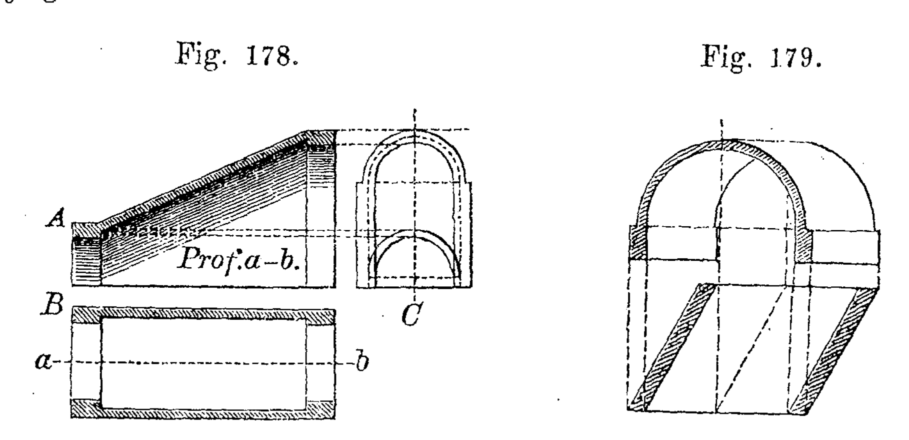
Statt der Ellipse wird sehr häufig ein Korbbogen als Wölbungslinie für ein Tonnengewölbe vorgezogen, weil die Bestimmung der Gewölbefugenrichtung bei ersterer unbequemer ist und weil der

Korbbogen bei der Unbestimmtheit seiner Form einen sehr großen Spielraum in seiner Gestaltung zuläßt, und daher Gelegenheit giebt, den lichten Raum unter dem Gewölbe je nach Erforderniß zu vergrößern, was bei andern Curven, die nach bestimmten geometrischen Gesetzen erzeugt sind, nicht der Fall ist.

Bildet die Wölbungslinie einen sogenannten Spitzbogen, so heißt das Gewölbe ein spitzbogiges Tonnengewölbe. Ferner gehören die steigenden Tonnengewölbe noch hierher, und man unterscheidet das aufsteigende Tonnengewölbe mit horizontalem Gewölbescheitel (auch einhüftiges genannt) und das steigende Tonnengewölbe mit steigendem Gewölbescheitel und Achse (Fig. 178 A bis C). Die Kämpferlinien steigen hier parallel mit der Gewölbeachse; dieses Gewölbe findet auch wohl bei Ueberdeckung und Unterstützung der Treppen, besonders auch in Form von Kappengewölben Anwendung. Alle bisher betrachteten Gewölbe heißen gerade Gewölbe, weil die Horizontalprojection der Stirnen derselben senkrecht zur Gewölbeachse stehen.

Ist dies nicht der Fall, so heißen dieselben schiefe, z. B. Fig. 179 zeigt ein:

Fig. 178. Fig. 179.



Schiefes, halbkreisförmiges Tonnengewölbe.

Es finden diese in neuerer Zeit hauptsächlich bei schiefen Brücken Verwendung; man vermeide sie jedoch, ihrer schwierigen Ausführung wegen, soviel als möglich, aus welchem Grunde wir sie in unsrer Betrachtung unbeachtet lassen und auf „Ringleb, Lehre des Steinschnitts" verweisen.

Die bisher erwähnten Tonnengewölbe sind die wichtigsten mit horizontaler oder geneigter Achse, die im Baufache vorkommen; es wären nun noch diejenigen mit verticaler Achse zu erwähnen. Diese werden z. B. ausgeführt, wenn einem horizontalen oder unter einem

Winkel geneigten Drucke (Erd- resp. Wasser-Druck ꝛc.) widerstanden werden soll; natürlich wird hierbei die Laibung ziemlich konkav sein müssen.

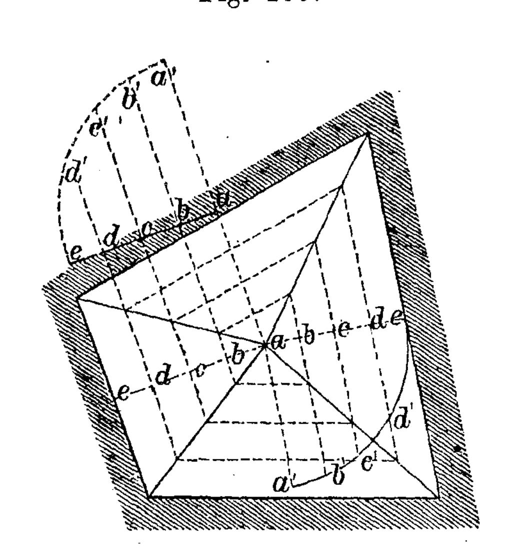
Neuerdings finden derartige Tonnen- resp. Stichbogengewölbe häufig bei versenkten Lichtkasten vor den Kellerfenstern, sowie bei den Isolirschachten vor den Fundamenten Anwendung.

Das Tonnengewölbe kann übergehen in ein Ringgewölbe, wenn dessen Achse übergeht in eine horizontal liegende Curve, z. B. in eine kreisförmig elliptisch oder schraubenförmig geschlossene Linie. Da diese Gewölbe nicht mehr nach Cylinderflächen gebildet sind, werden sie bei den andern Gewölbeflächen besprochen.

Denkt man sich ein Tonnengewölbe, z. B. ein halbkreisförmiges, über einem quadratischen Raume, so entstehen, wie schon früher erwähnt wurde, wenn zwei verticale diagonale Ebenen gelegt werden, zwei Wangen und zwei Kappentheile. Aus der Zusammensetzung von Kappentheilen ergeben sich Kreuzgewölbe, und von Wangentheilen die Klostergewölbe.

Betrachten wir zuvor das Klostergewölbe über einem viereckigen Raume, Fig. 180.

Fig. 180.



Wie aus der Entstehung dieses Gewölbes schon hervor geht, muß dasselbe so viele Widerlagsmauern haben, als Umfangsseiten vorhanden sind; das Klostergewölbe ist demnach immer ein geschlossenes Gewölbe. Bei Herstellung eines solchen Gewölbes muß, wenn die Grundfläche regelmäßig ist, zuerst die Wölbungslinie in einer Ebene senkrecht auf eine der Umfassungsmauern festgesetzt werden (Fig. 180),

aus der dann die der Diagonalbögen abzuleiten ist (Viertelkreise); letztere werden alsdann aus dem Hauptbogen mittels Vergatterung ausgetragen.

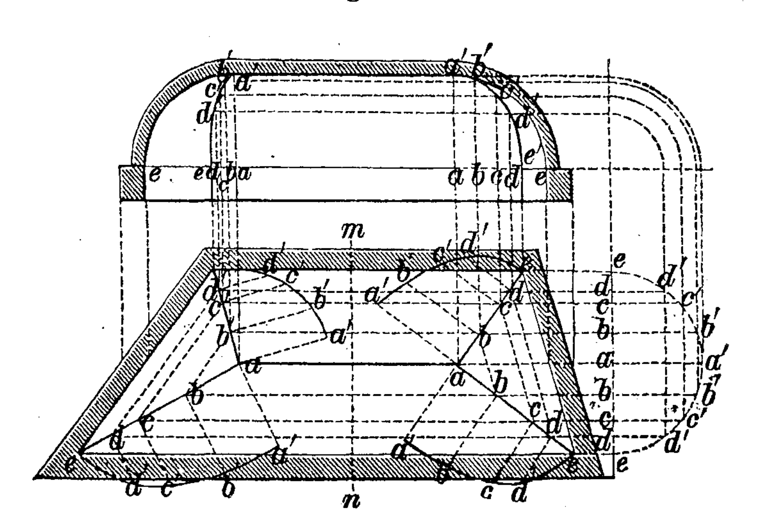
Wie aus der Form dieses Gewölbes zu ersehen, hat dasselbe nur einen höchsten Punkt, nämlich den Scheitelpunkt; derselbe liegt stets über dem Schwerpunkt des Raumes. Verbindet man im Grundrisse des zu überwölbenden Raumes den Schwerpunkt mit allen Ecken des Polygons, so entstehen die Horizontalprojectionen der Diagonal- oder Gratlinien.

Denkt man sich nun wieder durch den Scheitelpunkt mehrere verticale Ebenen senkrecht auf die Umfassungsmauern des Gewölbes gelegt und zieht man ferner vom Schwerpunkte aus Linien senkrecht auf die einzelnen Polygonseiten, dann ergeben sich die kürzesten Richtungen für die Wölbungslinie, also die Quadranten aa'e, aus welchen wiederum alle übrigen Bögen abgeleitet werden können.

Werden gegen die Stirnen eines Tonnengewölbes Wangenstücke gelegt, so erhält man das Muldengewölbe. Die Wangen können entweder senkrecht oder geneigt zur Achse des Tonnengewölbes stehen, wodurch rechtwinklige oder trapezförmige Grundrißformen entstehen.

In Fig. 181 ist ein Muldengewölbe über trapezförmigem Raume dargestellt.

Fig. 181.



Die Durchdringung der Cylinderflächen wird sich im Grundrisse als gerade Linien (Grat- oder Diagonallinien) zeigen.

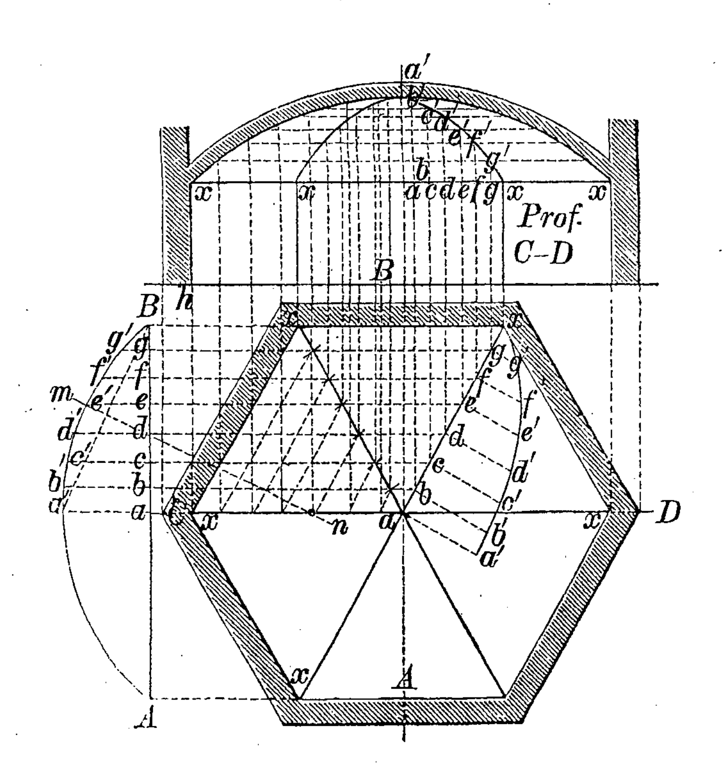
Der gerade Querschnitt mn ist hier als ein Halbkreis angenommen, und die Wölbungslinien, von den Punkten aa senkrecht auf die beiden

andern geneigten Seiten des Trapezes gezogen, sollen Viertelkreise desselben Halbkreises sein.

Um daher die Endpunkte a'—a' der Scheitellinie zu erhalten, ziehe man in gleichen Entfernungen parallele Linien zu den geneigten Seiten des Trapezes, so findet man im Durchschnitt dieser mit der Scheitellinie die gesuchten Punkte a'—a'. Die Linien a—e sind die Horizontalprojectionen der Diagonalbögen, deren wirkliche Längen leicht aus der Vergatterung herzuleiten sind. Um die Vergatterung zu erhalten, theile man die halbe Spannweite des Halbkreises in beliebig große Theile, und errichte die Senkrechten dd', cc', bb' und aa'; dann theile man die halben Diagonalen mittels Parallelen in demselben Verhältnisse ein, errichte darauf Senkrechte und mache dieselben entsprechend den Höhen des Halbkreises, verbinde die Punkte a', b', c', d', e' zu einer Curve, so giebt diese die Diagonallinie in wirklicher Größe.

Bis jetzt wurde bei den Gewölben eine der Wölbungslinien, welche senkrecht auf den Umfassungsmauern steht, als Viertelkreis angenommen; es kann diese Wölbungslinie jedoch eben so gut die Hälfte eines Segmentbogens, eines Spitzbogens, einer Ellipse u. s. w. sein, wie z. B. Fig. 182 zeigt, wobei ein Klostergewölbe über einen regelmäßigen sechseckigen Raum gespannt ist.

Fig. 182.



Die Ableitung des Gratbogens geschieht auch hier mittels Vergatterung. Es wird z. B. die Sehne $^1/_2$AB in 7 Theile von a bis h getheilt, hierauf werden die Senkrechten aa″, bb′ rc. errichtet, dann die Horizontalprojection des Diagonalbogens ax in ebenso viele gleiche Theile getheilt; hierauf ebenfalls Senkrechte gezogen und letztere gleich den Höhen aa′ bb′ cc′ rc. gemacht, so erhält man die halbe in der Richtung der Diagonale xx gelegene Ebene oder den Diagonalbogen in wirklicher Größe. Um nun die Diagonalbögen ax in der Verticalprojection zu erhalten, werden die Punkte a bis x lothrecht projicirt, alsdann von der Horizontalfläche xx in der Verticalprojection die Höhen aa′ bb′ rc. abgetragen, wie in der Zeichnung zu ersehen ist.

Soll der Segmentbogen festgestellt werden, und sind nur die Punkte A und B und die Pfeilhöhe aa′ gegeben, so verlängere man die Senkrechte aa′ verbinde a′ mit B′ nehme dieselbe als Sehne des halben Segmentbogen an, errichte auf a′B ein Loth mn, welches die verlängerte Pfeilhöhe trifft, so ist n der Mittelpunkt des Segmentbogens Aa′B.

Das Klostergewölbe findet im Allgemeinen wenig Anwendung, da es nur über quadratischen und regelmäßigen vieleckigen Räumen ein gutes Ansehen gewährt, und außerdem bedingt, daß alle Umfassungsmauern als Widerlager eine bedeutende Stärke haben müssen; gleichfalls wird die Anlage der Fenster- und Thüröffnungen, falls die Kämpferlinien des Gewölbes nicht höher als die Scheitel jener Maueröffnung liegen, sehr erschwert.

Das zweite aus Cylinderflächen zusammengesetzte Gewölbe, durch welches alle oben angegebenen Mißstände beseitigt werden, ist das Kreuzgewölbe, dessen Entstehung und geometrische Form schon mehrfach besprochen wurde.

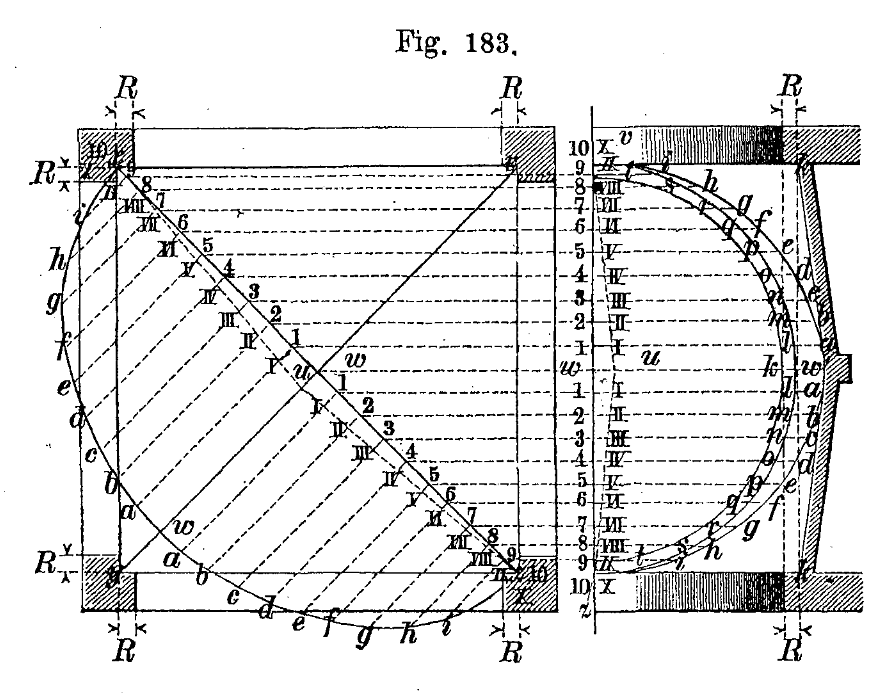
Die Construction des halbkreisförmigen Kreuzgewölbes mit vollständig horizontalen Scheitellinien ist nur in Haustein gestattet, hingegen pflegt man bei Bruch- und Backsteinen die Scheitellinien von den Stirnmauern aus etwas ansteigen zu lassen, es durchdringen sich demnach strenge genommen nur ansteigende Kappenstücke, so daß der Scheitelpunkt der höchste Punkt im Gewölbe sein wird. Man nennt diese Ueberhöhung den „Stich“ des Gewölbes; derselbe wird wegen des Senkens des Gewölbes nach der Ausschalung erforderlich.

Eine derartige Anordnung ist in Fig. 184 dargestellt. Es ist angenommen, daß die Mauern mittelst Gurtbögen durchbrochen sind,

dann müssen sich die Kappen, mit Berücksichtigung eines Rücksprunges, gegen den Pfeiler legen, oder man läßt den Gurtbogen wenig vorspringen (etwa um das Stück R), wie in diesem Beispiel geschehen ist.

In der Horizontalprojection zeigen sich die Projectionen der Diagonalbögen nur als gerade Linien.

Fig. 183.



Es sei nun über oz in der Verticalprojection ein Halbkreis gedacht; der Diagonalbogen wird dann nach der Vergatterung bestimmt. Zuerst muß der Stich = aw angenommen werden, verbindet man u mit z, so ergiebt sich die Projection der Steigung der Achse oder des Scheitels einer jeden Kappe. Alsdann theile man $\frac{1}{2}$vz in beliebige, aber gleiche Theile z. B. in 10 Theile, errichte bis zur Peripherie des Halbkreises über vz die Senkrechten wk, 1l, 2m, 3n, 4o, 5p, 5q, 7r, 8s und 9t.

Ferner wird auch die Horizontalprojection wz in 10 Theile getheilt und hierauf werden Senkrechte errichtet. Durch diese Lothe entstehen auf der geraden Stichlinie uz die Theilpunte I bis II. Nun erhält man den Diagonalbogen, d. h. die Durchdringungslinie von zwei Kappen, wenn die Senkrechten wk, 1l, 2m 2c. von u, I, II 2c. abgetragen werden; so daß die verschiedenen Höhen ww', 1a, 2b, 3c, 4d, 5e, 6f, 7g, 8h und 9i entstehen, wonach die Diagonallinie in wirklicher Größe und in der Verticalprojection gezeichnet werden kann.

Soll ein Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Raume hergestellt werden, so liegt der Scheitel desselben über dem Schwerpunkte der

Grundfläche, nämlich über dem Durchschnitt der beiden Diagonalen; zum Wand- resp. Schildbogen nimmt man die kleinere Rechteck-Seite als Halbkreis an, nach diesem Halbkreise lassen sich nun leicht die Schildbögen über den größeren Rechteck-Seiten, sowie die Diagonalbögen als Ellipsen, unter Berücksichtigung der Stechung, nach der Vergatterung ableiten.

Es giebt noch viele Formen von Kreuzgewölben, z. B. über einem rechteckigen Raume, in welchem beide Wand- resp. Schildbogen Halbkreise sind und der Gratbogen mit dem entsprechenden Stich als steigende Ellipse aus dem größten Schildbogen abgeleitet wird; oder in denen der Gratbogen und die Wand- resp. Schildbogen Halbkreise bilden u. s. w. Bei diesen Anordnungen wird jedoch die Scheitellinie nicht mehr gerade, sondern „busenförmig" gestaltet sein müssen, so daß also derartige Gewölbe nur zum Theil oder gar nicht mehr aus Cylinderflächen bestehen.

Soll über einen unregelmäßigen Raum ein Kreuzgewölbe gespannt werden, so suche man zuerst den Schwerpunkt, verbinde denselben mit den Endpunkten des unregelmäßigen Fünfecks, damit die Horizontalprojectionen der Diagonalbögen entstehen. Ferner lege man die größte Seite für den Halbkreis zu Grunde und trage mittels Vergatterung die übrigen Schildbögen aus, alsdann nehme man eine Stechung (gleich $^1/_{40}$ der Diagonale) an und construire die Diagonalbögen.

Bei den bis jetzt erwähnten Kreuzgewölben wurde immer einer der Schildbögen als Halbkreis angenommen; der Schildbogen kann aber eben so gut ein Segmentbogen oder Spitzbogen u. s. w. sein; die Ableitung der übrigen Schild- und Diagonalbögen bleibt ganz dieselbe, wie bisher angegeben wurde.

Bei den spitzbogigen Kreuzgewölben werden nun gewöhnlich die Gratbögen durch profilirte Rippen gebildet, deren Ausführung bei elliptischer Form viele Schwierigkeiten verursacht; man suchte daher die elliptischen Diagonalbögen zu vermeiden und alle Schild- und Gratbögen nach spitzbogigen Kreisbögen zu bilden. Es sind auf diese Weise die verschiedensten Formen von gothischen Gewölben aus dem Kreuzgewölbe entstanden, da dieselben jedoch nicht mehr aus Cylinderflächen zusammengesetzt sind, so werden sie weiter unten bei c besprochen.

Nur eines, welches noch hierher gehört, soll Erwähnung finden: nämlich Kreuzgewölbe über quadratischen, rechteckigen, oder regelmäßig-

vieleckigen Räumen, deren Grat- oder Diagonalbögen Halbkreise sind; die vier Gewölbekappen werden durch gerade horizontale Linien erzeugt, wonach die Schildbögen aus Halbellipsen bestehen, deren kleine Achse zur Spannweite dient und deren halbe große Achse gleich der halben Diagonale der Grundfläche ist. Diese Wand- oder Schildbögen sind leicht aus dem Diagonalbogen der Cylinderschnitte durch Vergatterung abzuleiten.

Denkt man sich ein Kloster- oder Kreuzgewölbe über einem vielseitigen regelmäßigen Raume durch eine durch den Scheitel und die Ecken gehende verticale Ebene geschnitten, so findet eine solche Hälfte des Kloster- oder Kreuzgewölbes oft Anwendung bei Kirchenchören, angebauten Kapellen u. s. w., aus welchem Grunde ein derartiges Gewölbe auch Chorgewölbe genannt wird.

Bisher nahmen wir an, daß die Achse und Widerlager resp. Kämpferpunkte der Cylinderflächen horizontal liegen, es können aber

Fig. 185.

auch Fälle vorkommen, wo erstere sich in geneigten Lagen, entweder rechtwinklich oder geneigt, durchkreuzen.

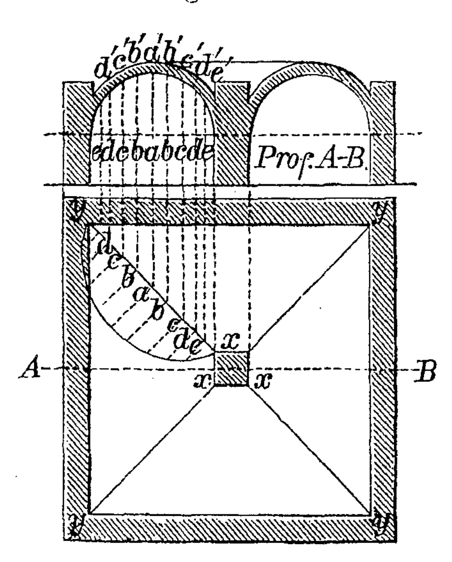
Der häufigste Fall kommt bei den Unterwölbungen der Treppen mittels Kreuzgewölben vor; die Fig. 185 zeigt ein steigendes Kreuzgewölbe über einen rechteckigen Raum.

Der Wandbogen über der kleineren Seite a b sei ein Halbkreis, das Gewölbe erhalte einen Stich e f und i c′ sei die gegebene wirkliche Steigung.

Es ist leicht einzusehen, daß der Schildbogen über der größeren Seite a c ein steigender Bogen, welcher aus dem Halbkreise c h d durch Vergatterung abzuleiten ist, werden muß. Bezüglich der Herstellung der Verticalprojection des Gratbogens und der wahren Größe des letzteren gilt das Verfahren von Fig. 184, man trage e f nach e′ f′ und mache $g' h' = g^2 h^2$ u. s. w. Die wahre Größe des Diagonalbogens ist in die horizontale Ebene umgelegt und wird erhalten, indem man $g h = g^3 h^3$ u. s. w. absteckt.

Auch hier beim steigenden Kreuzgewölbe kann der Schildbogen über der kleineren Seite als Segmentbogen, oder als irgend eine andere Kurve angenommen werden, wobei wieder das Verfahren zur Herstellung eines andern Schildbogens, wie auch des Diagonalbogens vermittels der Vergatterung ganz dasselbe bleibt.

Fig. 186.



Soll das steigende Kreuzgewölbe ganz offen sein, so würden die Schildbögen gleichzeitig Gurtbögen bilden.

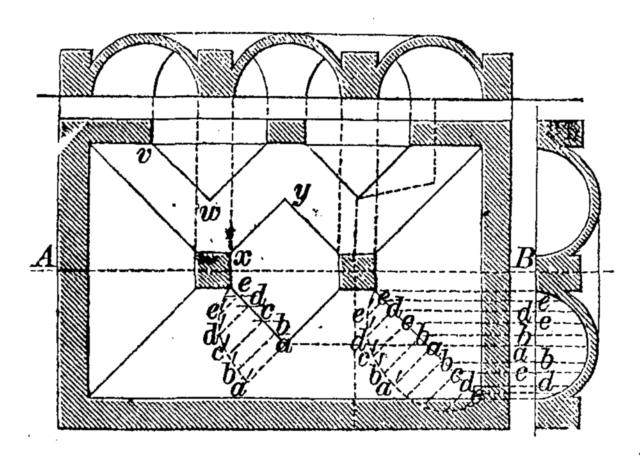
Das gewöhnliche Kreuzgewölbe über quadratischem oder rechteckigem Raume geht über in ein ringförmiges Kreuzgewölbe,

wenn die Längenachse desselben in eine horizontale Kurve, z. B. in einen Kreis übergeht; hingegen verwandelt es sich in ein schraubenförmiges Kreuzgewölbe, wenn die Achse die Form einer Schraubenlinie annimmt. Diese beiden Gewölbe werden weiter unten ad c betrachtet.

Das Tonnengewölbe kommt außer in den oben angegebenen Verbindungen und Zusammensetzungen noch in vielen anderen vor. Es sollen hier noch einige Beispiele, besonders die gegenseitige Durchdringung mehrerer Tonnengewölbe gezeigt werden.

In Fig. 186 und 187 A und B sind die Durchdringungen halbkreisförmiger Tonnengewölbe, mit gleichen Halbmessern, deren Achsen alle in einer horizontalen Ebene liegen, gegeben. Die einzelnen Durchdringungslinien x y und v w werden in ihren Horizontalprojectionen gerade Linien sein, weil aus der darstellenden Geometrie bekannt ist, daß die Projectionen der Durchdringungskurven zweier

Fig. 187.



kreisförmiger Cylinder, mit gleichen Halbmessern, deren Achsen sich schneiden, demnach in einer Ebene liegen, auf dieser Ebene gerade Linien sein werden, in allen andern Fällen aber Kurven (siehe Fig. 189). Die Diagonallinien selbst sind leicht durch Vergatterung zu finden; es sind dieselben in die horizontalen Projectionen der Figuren umgelegt.

Das eben angegebene Gesetz bezüglich der Durchdringungskurve zweier kreisförmiger Cylinderflächen mit gleichen Halbmessern gilt ebenfalls, wenn sich die Achsen in horizontaler Lage unter irgend einem Winkel durchschneiden.

Fig. 188 zeigt nun zwei sich nicht rechtwinklich, aber in horizontaler Lage durchdringende halbkreisförmige Tonnengewölbe mit gleichen

Halbmessern. Der höchste Punkt der beiden Durchdringungslinien wird offenbar über dem Durchschnittspunkte x der beiden Scheitellinien der Tonnengewölbe sein; xy und xz sind dann die horizontalen Projectionen der Durchdringungskurven, deren wahre Größe, wie auch Verticalprojectionen nun leicht durch Vergatterung aus dem Halbkreise mno abzuleiten sind.

Man denke sich nämlich, um diesen Halbkreis zu erhalten, beide Cylinderflächen durch verticale Hülfsebenen senkrecht zur Cylinderachse geschnitten.

Fig. 188.

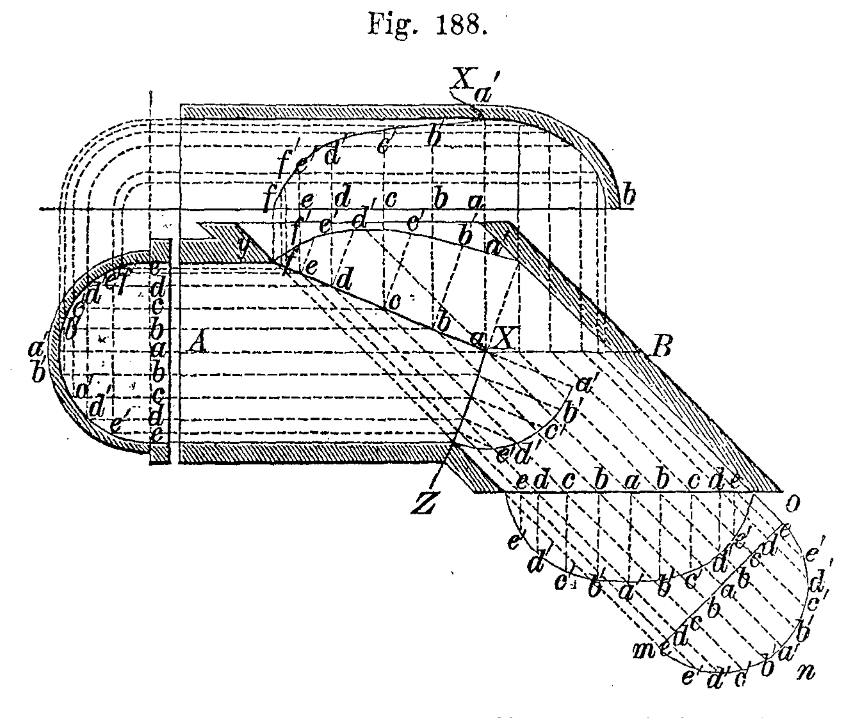


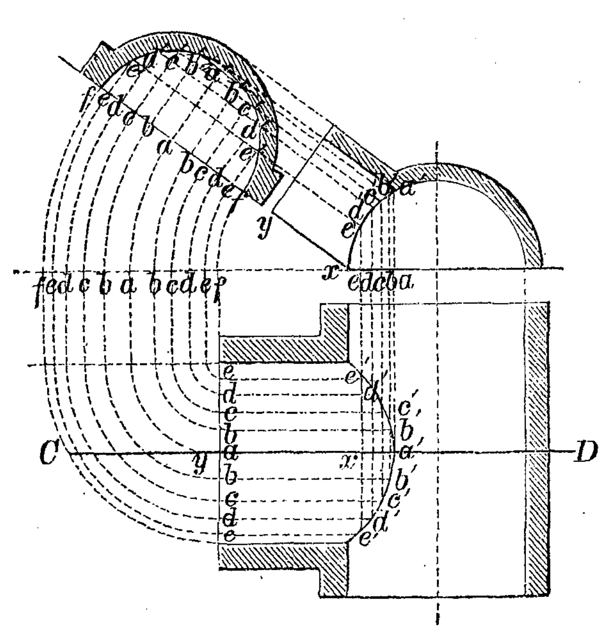
Fig. 189 zeigt zwei sich rechtwinklig durchdringende halbkreisförmige Tonnengewölbe mit gleichen Durchmessern, deren Achsen sich jedoch nicht schneiden, und wovon das eine ein steigendes Gewölbe mit steigender Achse ist.

Die horizontale Projection der Durchdringungskurve wird dargestellt, wenn man sich wieder beide Cylinderflächen durch verticale Ebenen parallel zur Achse CD geschnitten denkt, von denen der horizontale Cylinder nach dem Halbkreise, der steigende Cylinder nach zur Achse xy parallelen Graden geschnitten würde, deren gemeinschaftliche Durchschnittspunkte in je einer Hülfsebene Punkte für die Kurven sind.

Nach den bisher gegebenen Beispielen von Durchdringungen der Tonnengewölbe lassen sich nun leicht alle übrigen möglichen Fälle ausarbeiten, z. B. wenn die Tonnengewölbe verschiedene Halbmesser

haben, dann sich schneidende oder nicht schneidende, rechtwinklich oder unter irgend einem andern Winkel sich kreuzende, horizontale oder steigende Achsen haben; die Wölbungslinien können auch Segmentbögen, Ellipsen, Spitzbögen u. s. w. sein. In allen Fällen wende man, um die Durchdringungskurven zu erhalten, verticale oder horizontale Hülfsebenen an, oder ganz allgemein: wenn sich zwei ganz beliebige Tonnengewölbe durchdringen, nehme man Ebenen zu Hülfe, welche beide Cylinderflächen nach geraden Linien schneiden.

Fig. 189.



Um die Richtung dieser Hülfsebenen zu finden, nehme man an beliebiger Stelle einen Punkt an, lege durch diesen zwei Gerade, welche parallel zur Erzeugenden der beiden Cylinder fallen, und lege durch diese zwei Gerade eine Ebene; parallel mit Letzterer müssen diese Hülfsebenen gehen, um der genannten Anforderung zu entsprechen.

Wird die Laibung eines Gewölbes durch eine Kegelfläche, oder einen Theil einer solchen gebildet, so entsteht das Kegelgewölbe oder konische Gewölbe, und es giebt hier, ebenso wie bei Cylindergewölben, halbkreisförmige, elliptische u. s. w. Derartige Anordnungen können bei Fenster- und Thüröffnungen mit schrägen innern Laibungen vorkommen, wie das nachstehende Beispiel Fig. 190 veranschaulicht.

Es sei die innere cylindrische Gewölbefläche senkrecht auf der verticalen Projectionsebene, ihre Achse Q′Q″ liege in der horizontalen Projectionsebene und stehe daher auf AX normal.

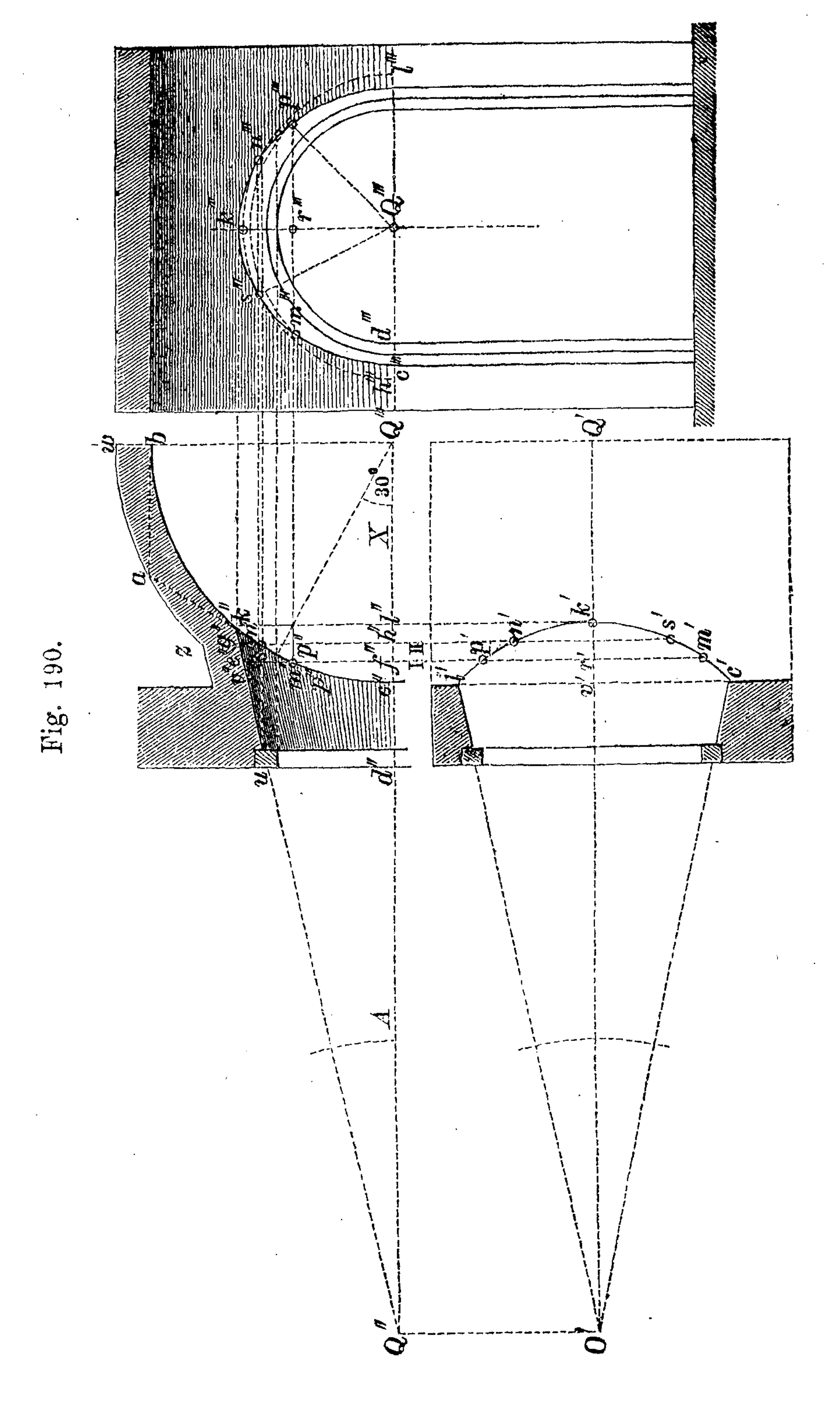


Fig. 190.

Die innere konische Gewölbefläche hat ihre Spitze in der horizontalen Projectionsebene. Der Halbmesser der Cylindergrundfläche sei O″b und jener des Kegelparallelkreises sei d″u. Um die Durchschnittslinie der konischen und der cylindrischen Gewölbefläche zu erhalten, wende man solche Hülfsebenen an, die senkrecht auf der Achse

AX der Projectionsebenen stehen, diese Ebenen schneiden die Kegelflächen in lauter Kreislinien und die Cylinderflächen nach geraden Linien; je zwei Durchschnittspunkte dieser Flächen liegen dort, wo die Kreislinie von der Geraden (Erzeugenden) geschnitten wird, es liegen also die Durchschnittspunkte dieser Flächen in den Anfangs- und Endpunkten jener Sehnen, die parallel zur Kreuzrißebene sind. Auch erhält man einen Durchschnittspunkt k′, wenn man durch Q′u′ die parallele Hülfsebene zur verticalen Projectionsebene legt, sie schneidet dann die Kegelfläche in der geraden Erzeugenden und die Cylinderfläche in einer Kreislinie.

Die Hülfsebene I schneidet die Kegelfläche in einem Kreise vom Halbmesser f″e″ und die Cylinderfläche in der geraden Erzeugenden m′p′ oder m″p″; um die horizontale Projection der beiden Durchschnittspunkte zu erhalten, beschreibe man mit dem Halbmesser f″e″ aus der Kreuzprojection Q‴ einen Kreis, projicire in die Kreuzrißprojectionsebene die Gerade (Erzeugende), längs welcher die Cylinderfläche geschnitten wurde, wonach sich die Durchschnittspunkte m‴ und p‴, welche der Kreuzprojection der Durchdringungskurve angehören, ergeben.

Legt man jetzt die Hülfsebene II wieder normal auf AX, dann schneidet sie die Kegelfläche in einer Kreislinie vom Halbmesser h″g″, und die Cylinderfläche, längs der Erzeugenden in s′n′s″u″. Man erhält nun die Kreuzrißprojection s‴ und n‴ der Durchschnittspunkte beider Flächen, wenn man aus Q‴ mit dem Halbmesser h″s″ den Kreisbogen h‴s‴n‴ zieht, der die Kreuzrißprojectionen s‴ n‴ der Cylinder-Erzeugenden in den oben benannten Punkten schneidet. Verbindet man die Punkte c‴m‴s‴k‴n‴p‴ und l‴ durch eine continuirliche Kurve, so gelangt man zur Kreuzrißprojection der Durchschnittskurve beider Flächen.

Um die horizontale Projection l′p′n′k′s′ 2c. der Durchschnittskurve zu erhalten, ziehe man r′p′=r′m′=r‴p‴=r‴m‴, n′s′=n‴s‴.

b) Gewölbe, welche durch Rotations-Flächen gebildet werden und deren Verbindungen.

Bewegt sich um eine verticale Gerade eine einfach gekrümmte Kurve, deren Ebene durch diese Gerade geht in der Weise, daß jeder Punkt derselben während dieser Bewegung von den gegebenen Geraden

dieselbe Entfernung behält, so entsteht eine Rotationsfläche, die Kurve ist die Erzeugende, die verticale Linie hingegen die Drehachse.

Wird nun eine solche Rotationsfläche als Grundform benutzt, dann nennt man das Gewölbe ein **Kuppelgewölbe**; ist also die erzeugende Kurve ein Halbkreis, dessen Verbindungslinie der beiden Endpunkte horizontal ist, und durch dessen Mittelpunkt die verticale Drehachse geht, so heißt das Gewölbe ein **kugelförmiges Kupppelgewölbe** oder **Kugelgewölbe**; bei einer Ellipse, einer Parabel, einem Korbbogen u. s. w. führt es den Namen: ein ellipsoidisches, parabolisches 2c. Kuppelgewölbe.

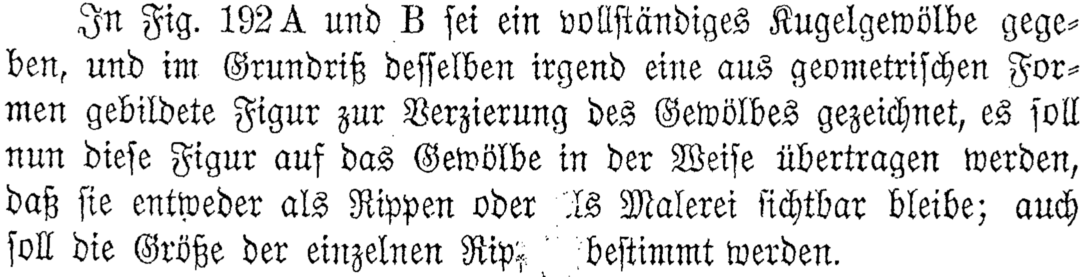
Es ist sehr leicht einzusehen, daß alle diese Gewölbeformen mit verticaler Drehachse einen horizontalen Kreis zur Kämpferlinie haben, demnach eine kreisförmige Umfassungsmauer als Widerlager erfordern. Es lassen sich jedoch diese Gewölbeformen auch über eckige Räume anwenden, wie wir nun gleich bei den einzelnen Beispielen sehen werden.

Fig. 191 zeigt das Kugelgewölbe über kreisförmigem Raume. Die Raum-Kurven, welche die Laibung erzeugen, nennt man die Wölbungslinie, und diese ist hier der Halbkreis a c' b.

Denkt man sich aus einer großen Kugelfläche mittelst einer horizontalen Ebene eine Kalotte abgeschnitten und benutzt diese als Laibung für ein Gewölbe, so entsteht ein flaches Kugelgewölbe. Ebenso läßt sich, wie schon angegeben, jede andere Kurve als Erzeugende für eine solche Gewölbeform anwenden.

Fig. 191.

Manchmal pflegt man auch die Laibungsfläche eines solchen Kugelgewölbes auf irgend eine Art zu verzieren, wie das nachfolgende Beispiel veranschaulicht.



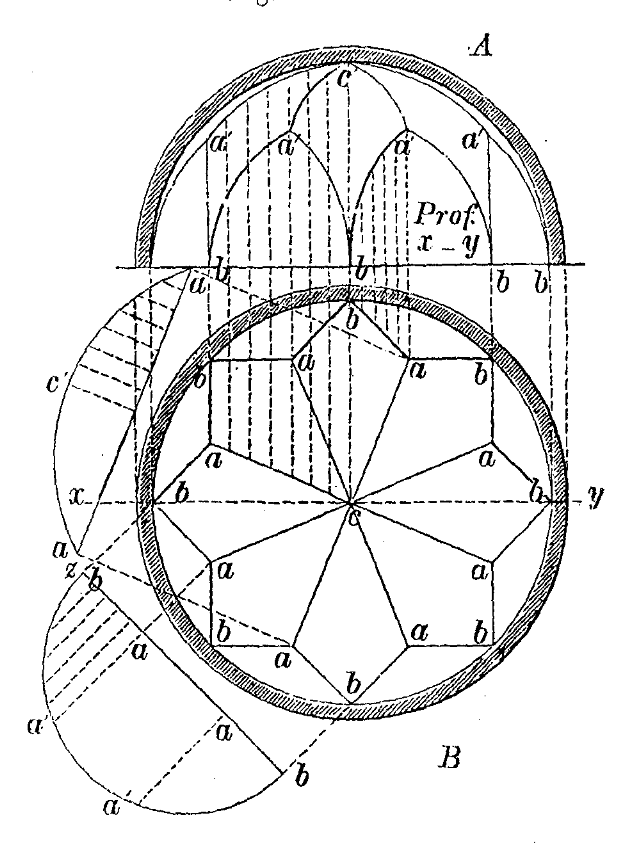
In Fig. 192 A und B sei ein vollständiges Kugelgewölbe gegeben, und im Grundriß desselben irgend eine aus geometrischen Formen gebildete Figur zur Verzierung des Gewölbes gezeichnet, es soll nun diese Figur auf das Gewölbe in der Weise übertragen werden, daß sie entweder als Rippen oder als Malerei sichtbar bleibe; auch soll die Größe der einzelnen Rippen bestimmt werden.

Diese Construction wird noch mehrfach in späteren Beispielen Anwendung finden aus welchem Grunde die Erklärung hier allgemein gehalten werden soll.

Vor Allem sind folgende Gesetze festzustellen:

Jeder Schnitt einer Kugel durch eine Ebene in beliebiger Lage

Fig. 192.



giebt einen Kreis; geht die Ebene durch den Mittelpunkt der Kugel, so zeigt die Schnittfläche den größten Kreis. Geht sie nicht durch den Mittelpunkt, so entstehen Halbkreise, deren Durchmesser gleich der Sehne der Kugelgrundfläche sind, welche durch die Durchschneidung der verticalen Schnittebene und der Kugelgrundfläche gebildet wird.

In dem gegebenen Gewölbe sind zweierlei Rippen, nämlich über a c und über a b, vorhanden, da die Rippe über a c in einer durch den Mittelpunkt gehenden Verticalebene liegt, so muß erstere nach dem größten Kreise der Kuppel, nämlich nach der Wölbungslinie, gekrümmt sein.

Die genaue Construction der einzelnen Rippen in der verticalen Projection geschieht am einfachsten durch die Vergatterung, die schon bei den Verbindungen der Tonnengewölbe gezeigt wurde.

Sehr häufig findet man auch Kugelgewölbe durch sogenannte Kasetten verziert, deren Darstellung nun auch hier gezeigt werden soll.

Am schwierigsten ist die Bestimmung der Anzahl und Breite der Kasetten und Stege; man erhält diese am besten nach dem Emy'schen Verfahren.

Man bestimme im Grundrisse (Fig. 193 A und B) die Anzahl und Breite der aufsteigenden Stege und Kasettenreihen (an der Kuppel des Pantheon sind 28 aufsteigende und 5 horizontale Kasetten, giebt 140 Kasetten); danach bestimme man im Aufrisse (Verticalprojection)

Fig. 193 A und B.

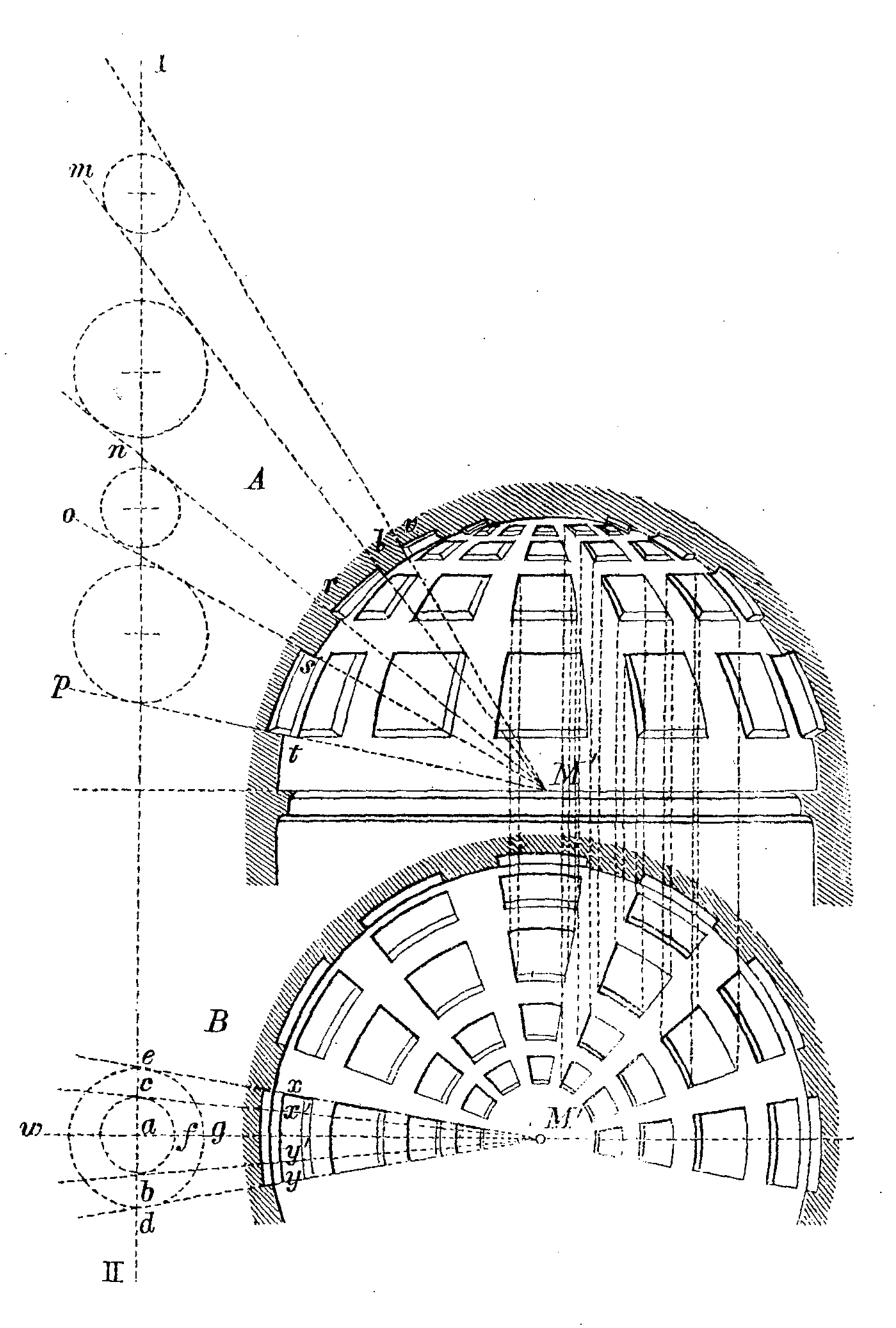


Fig. 193 A den ersten, unmittelbar auf dem Kämpfergesimse aufsitzenden und durch die Gesimsausladung bedingten Sockel, wodurch Punkt t gegeben ist. Man verlängere nun yM und xM, welche eine aufsteigende Kasettenreihe einschließen, nach Außen und be-

trachte diese Linien als Tangente eines beliebig angenommenen Kreises wegd.

Durch das Centrum a errichte man die Senkrechte I und II, in welcher die Centra sämmtlicher Kreise liegen müssen, die zur Eintheilung der Verticalprojection des Gewölbes nöthig sind. Der erste Kreis wird gleich dem wegd der Art gezogen, daß die verlängerte M't oder M'p denselben berührt, so wird der Durchschnitt s der oberen Tangente M'o mit der Kugel die obere Kante des ersten Kasettenringes geben. Wir haben somit in xy die Breite und in st die Höhe der Kasetten der ersten Reihe. Oder betrachtet man Me und Md als Horizontalprojectionen, M'o und M'p als Verticalprojectionen eines um den Kreis wegd beschriebenen Conus, so wird die Durchschnittslinie desselben mit der Gewölbefläche eine Kurve geben, deren vier Tangenten die Kassetten einschließen. In ähnlicher Weise verfährt man, um die verticale Projection sr des zweiten Steges zu bestimmen. Die angenommene Stegbreite ist xy'; man construire wieder den Kreis icfb, und ziehe hieran die Tangente MX' und My'. Wird derselbe Kreis in der Verticalprojection tangirend an M'o gezogen, so wird der Durchschnitt der oberen Tangente M'n mit der Gewölbefläche die obere Kante r des Steges bestimmen.

Durch Wiederholung des angegebenen Verfahrens erhält man die Punkte l und v u. s. w., bis die Kasetten so klein werden, daß ihre Anlage kleinlich erscheinen würde. Der Scheitel des Gewölbes bleibt alsdann platt, oder er wird wie beim Pantheon, mit einem Oberlicht versehen, oder man schließt diese Durchbrechung mit einer zurückgesetzten flachen Kuppel, welche zur Aufnahme eines Gemäldes bestimmt ist.

Vorstehende Construction beruht auf dem Gesetze: betrachtet man Me und Md als die Risse zweier Meridianebenen, welche eine aufsteigende Reihe Kasetten einschließen, so berühren die Tangenten alle Kegel, welche man in die Kugel wegd in verschiedener Lage zu ziehen vermag, vorausgesetzt, daß ihr Mittelpunkt die Senkrechte I, II nicht verläßt. Da die Durchschnittslinie dieser Kegel mit dem Intrades der Gewölbefläche Kreise bilden, die von Me und Md berührt werden, so muß eine stetige Verjüngung derselben gegen den Gewölbescheitel stattfinden.

Die Hälfte eines Kugelgewölbes, welche durch eine durch den Mittelpunkt gehende verticale Ebene entsteht, findet auch, ähnlich wie bei dem Kloster- und Kreuzgewölbe erwähnt wurde, bei Kirchenchören

u. s. w., als sogenanntes Chor= oder Nischengewölbe, Anwendung. Denkt man sich an einer Halbkugel mit horizontalem Begrenzungskreis in den letztern eine regelmäßige gleichseitige Figur gezeichnet und durch die einzelnen Seiten derselben verticale Ebenen gelegt, so schneiden letztere von der Halbkugel so viele Halbkalotten ab, als die Grundfigur Seiten hat, während der noch übrige Theil der Halbkugel als Gewölbeform zur Ueberdeckung der Grundfigur dient.

Durch diese Verticalebenen wird die Halbkugel nach Halbkreisen, deren Durchmesser gleich den Seiten der Grundfigur sind, geschnitten.

Fig. 194 zeigt das Princip einer solchen Gewölbeform über einem quadratischen Raum, und Fig. 195 A und B giebt die nähere graphische Construction für ein solches Kugelgewölbe über quadratischem Raum an.

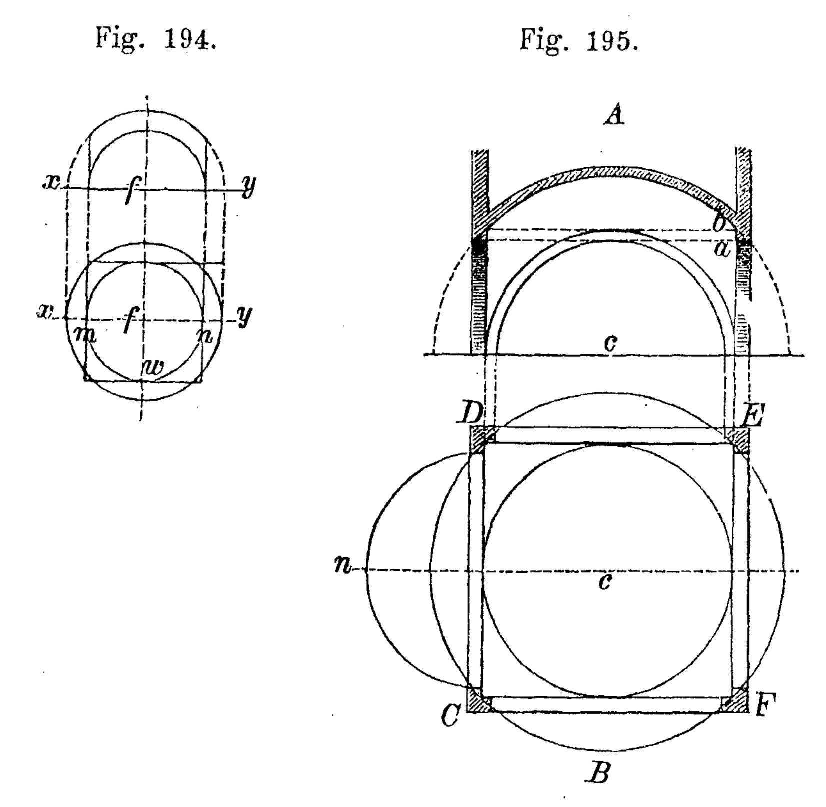


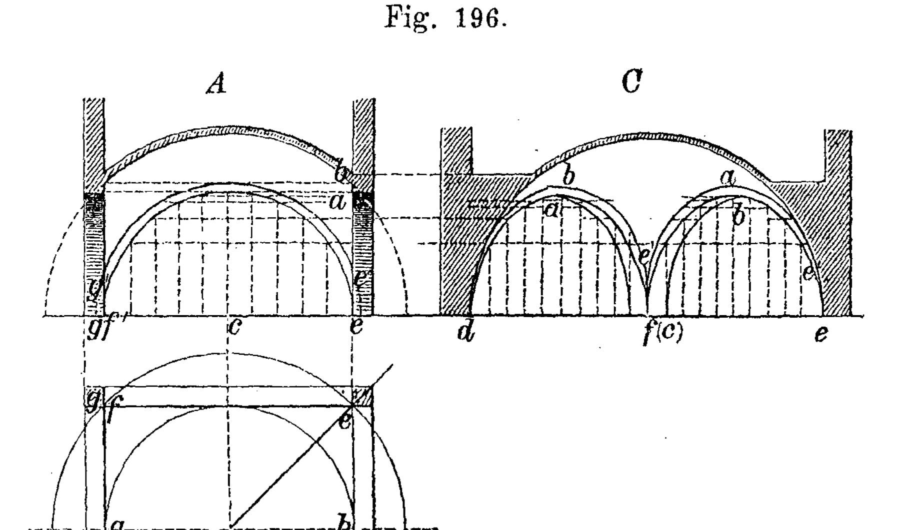
Fig. 194.

Fig. 195.

Die Wölbungslinie ist ein Halbkreis, dessen Durchmesser gleich der Diagonale des Quadrates ist. Die Kämpferlinien an den Umfassungsmauern bestehen aus vier congruenten Halbkreisen, welche in den Ecken zusammenlaufen. Es ist nun auch bei diesen Gewölben, wenn die Schildmauern offen sein sollen, CD der Gurtbogen, welcher hier gleichzeitig als Widerlager dient. Der Gurtbogen steht um das Stückchen ab vor der Schildlinie des Gewölbes, damit noch ein hinreichendes Widerlager vorhanden bleibe.

Soll nun der Pfeiler quadratisch werden (Fig. 196 A—C), so muß man um den Vorsprung a b demnach zu erhalten, den Durchmesser e f der Wölbungslinie etwas größer, als die Diagonale des Quadrates angiebt machen. Ist der Vorsprung a b gegeben, so projicirt man g′ nach g, wonach man dann den Radius der Wölbungslinie angiebt.

Fig. 196.



Um den verticalen Diagonalschnitt zu zeichnen, beschreibe man erst mit der Diagonale des Quadrates über d e einen Halbkreis und zeichne die Schildbögen über f d und f e in der Ansicht mittels Vergatterung.

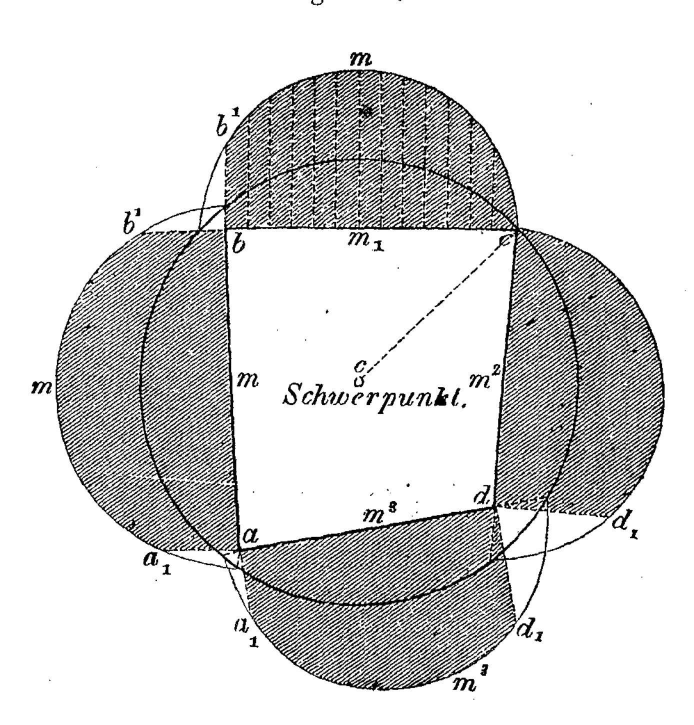
Ganz in derselben Weise läßt sich nun die eine oder die andere Art solcher böhmischer Gewölbe über einen rechteckigen Raum bilden; man wird aber zweierlei Halbkreise oder Segmentbögen als Schildbögen erhalten; desgleichen über regelmäßigen, vieleckigen Grundflächen.

Der Durchmesser der Wölbungslinie wird stets der Diagonale des Polygons gleich sein.

Soll nun ein böhmisches Gewölbe über einem unregelmäßigen Raum (Fig. 197) construirt werden, so muß zunächst der Schwerpunkt C des zu überwölbenden Raumes gesucht werden, und alsdann ist die größte Diagonale als Radius (Cc) der Halbkuppel anzunehmen; ferner sind über a b, b c, c d, d a Ebenen zu legen, welche die Kugel

als Halbkreise durchschneiden, letztere klappe man in die horizontale Ebene um, ziehe auf a, b, c und d Senkrechte, wodurch die Schildbögen a′mb′, b′mc, cmd′ und d′ma entstehen. Der Kämpferpunkt c wird in der Horizontalen selbst liegen.

Fig. 197.



Sehr oft werden die Gewölbe 195 und 196 auch in der Weise construirt, daß die über den vier Widerlagsbögen befindliche Kalotte von den zwischen denselben liegenden Zwickeln durch horizontale Cylinder (Gesims) getrennt werden, wie in Fig. 198 A und B gezeigt ist.

Die Wölbungslinie der vier Zwickel hat den Durchmesser xy, gleich der Diagonale des Quadrates, und die der Kalotte besitzt einen größeren Durchmesser a—b, welcher von der Höhe des Gesimses abhängt, so daß demnach streng genommen zwei Kuppeln von geringem Durchmesserunterschied über einander gedacht werden können.

Statt der Kalotte, deren Mittelpunkt mit demjenigen der Kugelfläche zusammen fällt, findet man auch öfters eine größere Kalotte, deren Mittelpunkt höher liegt, und welche sogar in eine Halbkugel übergehen kann, wie Fig. 199 A und B zeigt. Die vier Zwickel bilden den Uebergang von der quadratischen Grundform in die kreisförmige; manchmal findet man auch, zwischen den vier Zwickeln und dem Kugelgewölbe, noch eine verticale cylindrische Mauer, den sogenannten Tambour, aufgeführt.

Auch die Gewölbe (Fig. 195 und 196) werden oft in verschiedener Weise verziert, wie Fig. 192 veranschaulicht. Fig. 200 A und B geben eine verzierte Kalotte; die Herstellung der einzelnen Bögen als Kugel-

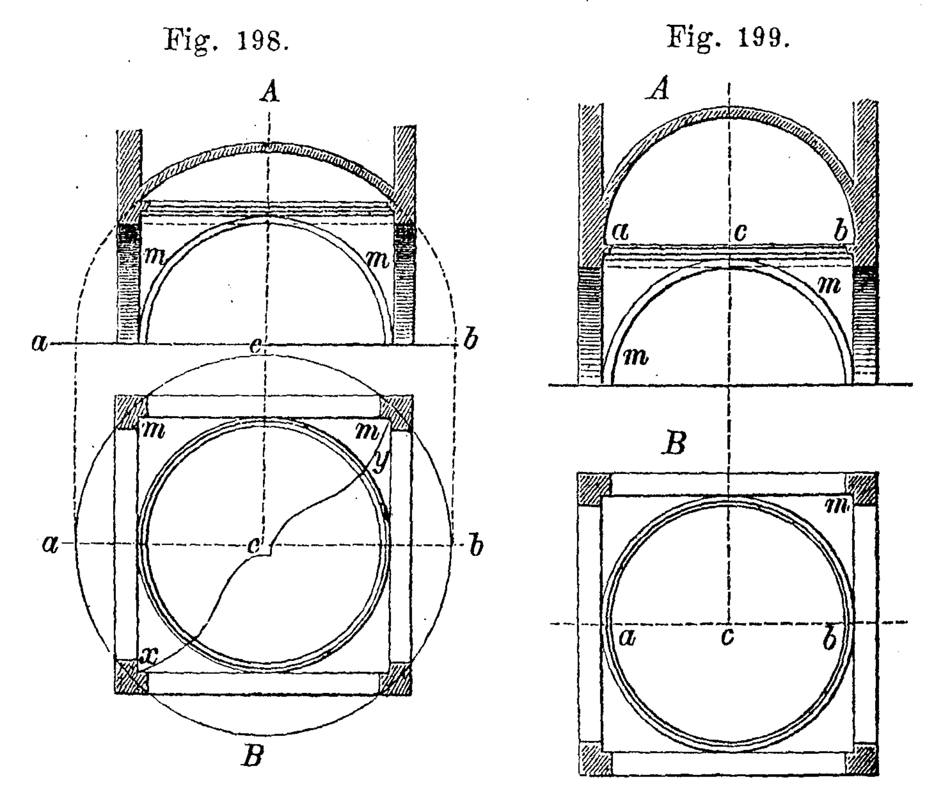


Fig. 198. Fig. 199.

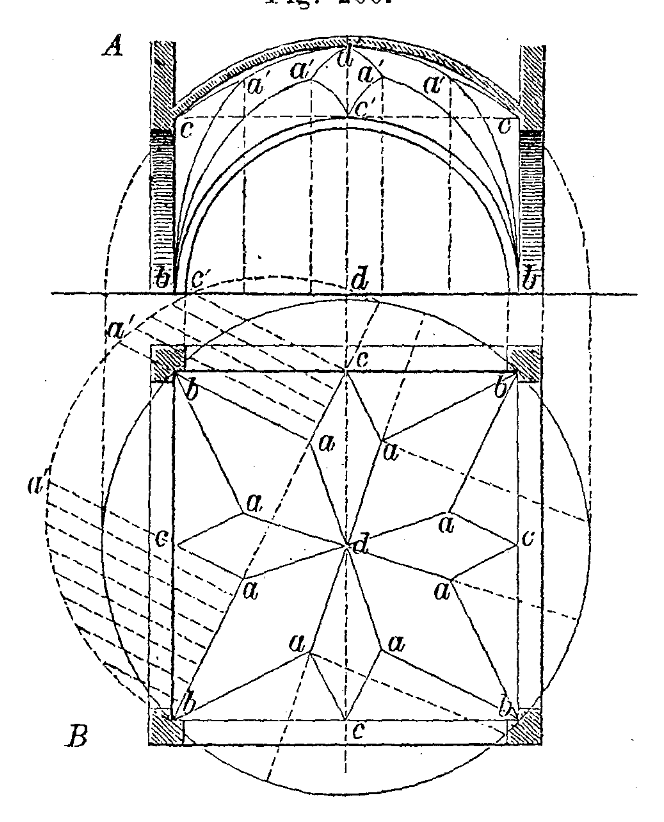
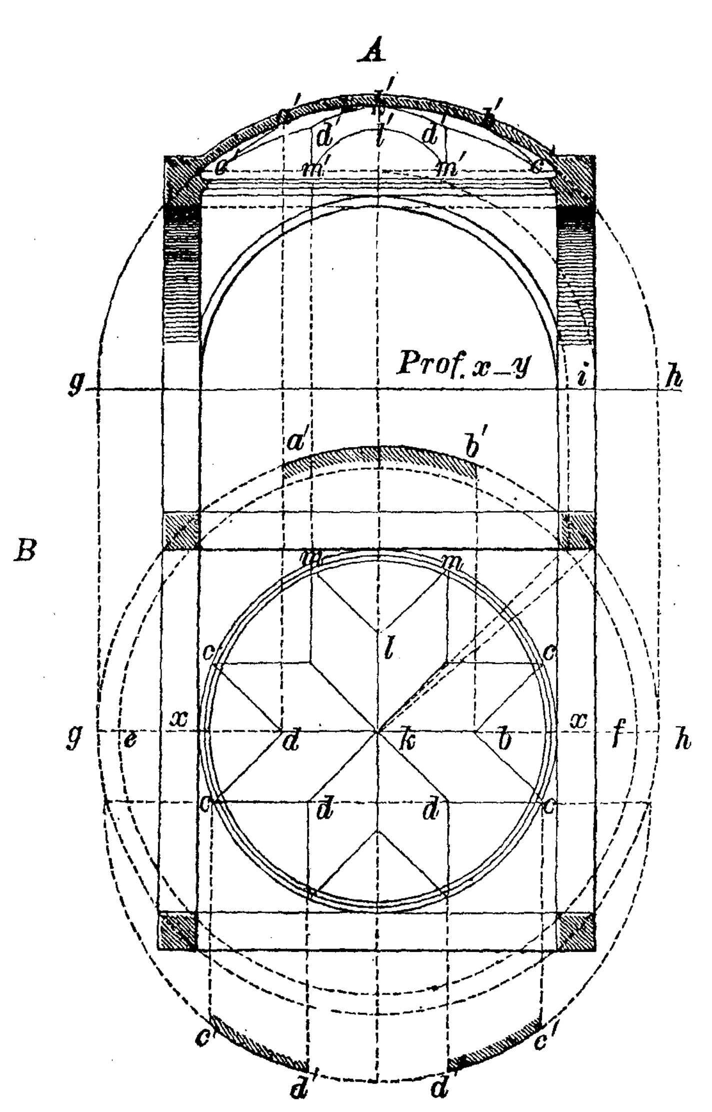


Fig. 200.

schnitte ist wieder ganz ebenso, wie in Fig. 192 gezeigt wurde. In dem gegebenen Gewölbe kommen dreierlei Bögen vor, die Bögen **a a**, **a b** und **a c**.

Ein anderes Beispiel führt Fig. 201 A und B vor. Hier befindet sich über den Zwickeln ein Gesims, auf welches sich eine verzierte

Fig. 201.



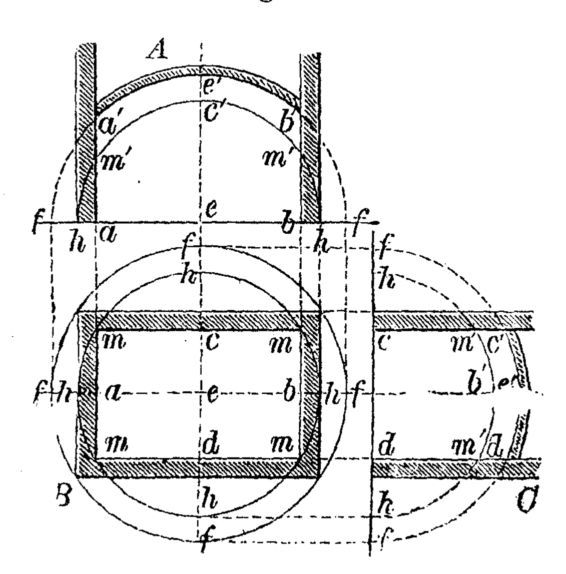
Kalotte setzt. Um die Verzierung in der Verticalprojection zu zeichnen, muß erstere zuvor in der Horizontalprojection gegeben sein. Den Aufriß findet man dadurch, daß man durch die betreffenden Seiten im Grundrisse verticale Ebenen legt, welche stets Halbkreise geben. Im Uebrigen veranschaulicht die Zeichnung die ganze graphische Construction.

Denkt man sich in einer Halbkugel irgend eine zu überwölbende Grundfläche, deren Endpunkte nicht in dem Umfange des Kreises lie-

gen und deren Schwerpunkt mit dem Mittelpunkte der Halbkugel zusammenfällt, gezeichnet, und über die Seiten dieser Grundfläche eine verticale Ebene errichtet, so kann der über der Grundfläche liegende Theil der Kugelfläche als eine Gewölbeform betrachtet werden, und solche nennt man in der Regel böhmische Gewölbe.

Fig. 202 A—C zeigt ein solches böhmisches Gewölbe über einem rechteckigen Raume. Die Herstellung der einzelnen Schildbögen ist auch hier wieder sehr einfach, wenn man sich nach den oben angegebenen Gesetzen für die Kugelschnitte richtet.

Fig. 202.



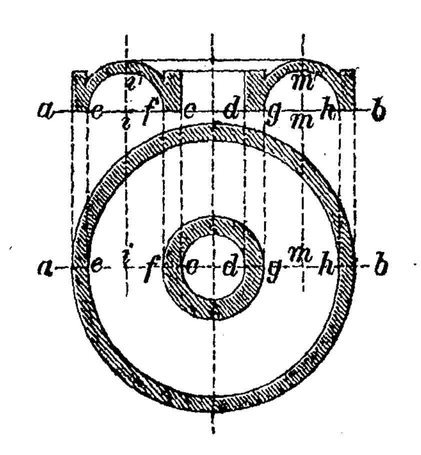
Die böhmischen Gewölbe lassen sich auch über ganz unregelmäßige Räume spannen, nur ist darauf zu achten, daß der Mittelpunkt stets in der Projection des Schwerpunktes liege.

Im Uebrigen ist bei Austragung der Schildbögen der böhmischen Gewölbe dasselbe Verfahren gültig, welches in Fig. 197 gezeigt wurde.

Fällt bei der Erzeugung einer Rotationsfläche durch einen Halbkreis der Mittelpunkt desselben nicht, wie beim Kugelgewölbe, mit der verticalen Drehachse zusammen, sondern bleibt diese in einer gewissen Entfernung, die meistens größer ist als der Radius des zu erzeugenden Halbkreises, von derselben ab, so entsteht das halbkreisförmige Ringgewölbe (Fig. 203); es wurde dasselbe schon weiter oben als Tonnengewölbe mit kreisförmiger Gewölbeachse erwähnt.

Nimmt man bei diesem Ringgewölbe nur die durch den äußeren Viertelkreis erzeugte Fläche als Grundfläche und überdeckt den inneren noch freien Raum mittels eines scheitrechten Gewölbes, so entsteht das Spiegelgewölbe über kreisförmiger Grundfläche.

Fig. 203.



Die beiden eben genannten Gewölbeformen können nun ebenso durch einen Segmentbogen, eine Ellipse u. s. w. erzeugt werden.

Alle bisher betrachteten Gewölbeformen hatten eine verticale Drehachse; es können aber Gewölbeformen vorkommen, wenn auch nur sehr selten, welche von Rotationsflächen mit horizontaler Drehachse gebildet sind. Hierher gehört z. B. das elliptische Kuppelgewölbe mit horizontaler Drehachse, bei welchem die Laibungsfläche von einem Rotations-Ellipsoid gebildet wird.

Auf gleiche Weise können, z. B. bei Nischen- oder Chorgewölben, Rotations-Paraboloide mit horizontaler Achse u. s. w. Anwendung finden.

c) Verbindung von Tonnen- und Kuppelgewölben, windschiefe Flächen, Schraubenflächen 2c.

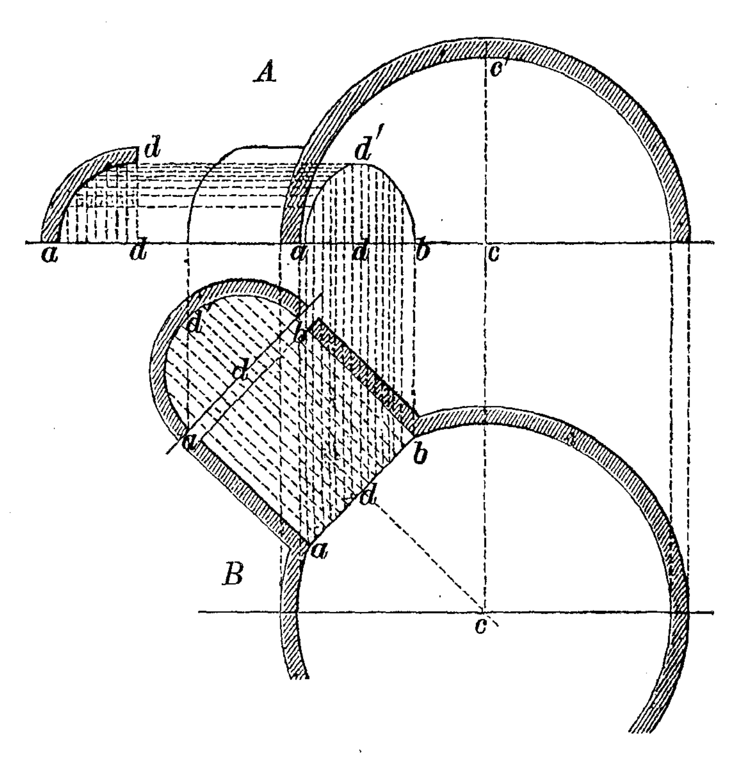
Dieses Capitel umfaßt die Verbindungen von Gewölbeformen des ersten und zweiten Capitels, also die Durchdringungen von Tonnengewölben und Kuppelgewölben; dann kommen noch alle jene Gewölbeformen in Betrachtung, welche sich in Bezug auf ihre geometrische Form keinem der beiden ersten Capitel anreihen lassen, jedoch meistens aus diesen Gewölbeformen hervorgehen.

Unter den Verbindungen der Tonnengewölbe mit Kuppelgewölben kommt folgendes Beispiel am häufigsten vor (Fig. 204 A und B). Es wird darin ein Kugelgewölbe von einem halbkreisförmigen Tonnengewölbe, dessen Achse horizontal ist und durch den Mittelpunkt des ersteren geht, durchdrungen.

Die Durchdringungskurve der Cylinder- und Kugelfläche ist, da die Achse der ersteren durch den Mittelpunkt der letzteren geht, ein

Halbkreis und zwar der Ergänzungshalbkreis der Cylinderfläche. Derselbe projicirt sich im Grundrisse als eine gerade Linie a b, während er in der Verticalprojection als Halbellipse erscheint.

Fig. 204.



Letztere läßt sich durch Vergatterung aus dem Querschnitte des halbkreisförmigen Tonnengewölbes ermitteln, wie in der Figur hinreichend deutlich gezeigt ist.

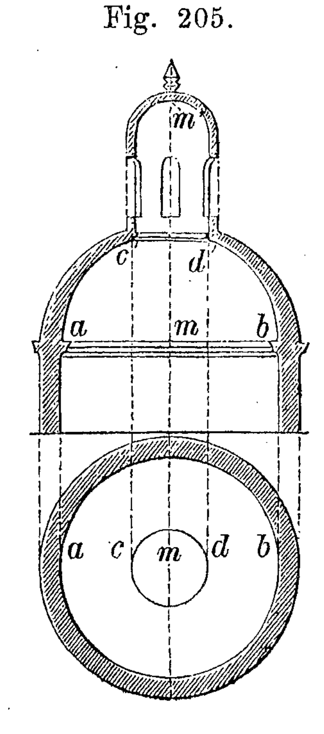
Es lassen sich nun noch verschiedenartige Modificationen anordnen, stets aber ist immer der Satz festzuhalten, daß durch beide sich durchdringende Gewölbeformen Hülfsebenen zu legen sind, welche das Cylindergewölbe nach einer geraden Erzeugenden, das Kuppelgewölbe nach einem Kreis oder sonst einer constructiven Kurve schneiden.

Wir wollen nun noch einzelne Verbindungen früherer Gewölbe betrachten, die sehr häufig bei sogenannten Kirchenkuppeln Anwendung finden. Soll die in dem zweiten Capitel zu Grunde liegende Kugelgewölbeform in Stein ausgeführt werden, so ist die einfachste Zurüstung eines solchen Gewölbes die, dasselbe in horizontale Ringe zu theilen, deren Lagerfugen horizontale Kreise, und deren Lagerflächen Kegelflächen bilden, deren Spitzen in dem Mittelpunkte der Halbkugel liegen. Die Stoßfugen und Flächen stellen verticale Meridian-Ebenen dar. Es geht nun aus dieser Construction hervor, daß jeder Ring, wenn der letzte Stein desselben versetzt ist, im Gleich-

gewicht sich befindet, und daß das Kugelgewölbe demnach nicht, wie ein Tonnengewölbe, durch Schlußsteine geschlossen sein muß, sondern in jeder beliebigen Schichtung offen bleiben kann.

Hieraus geht nun die Anwendung der sogenannten Laternen bei den Kuppelgewölben hervor.

Fig. 205.

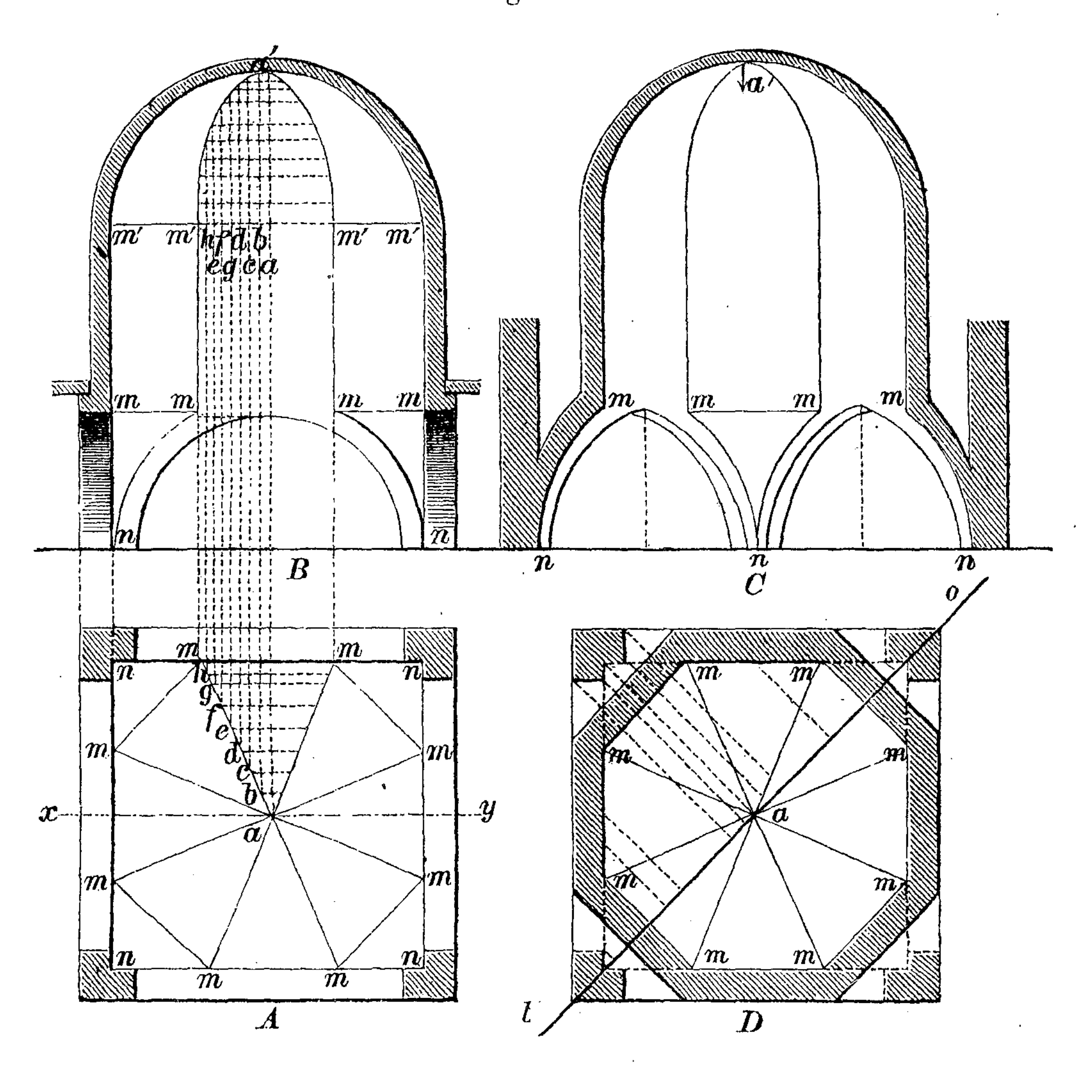


Man findet nämlich nicht selten auf einem solchen oben offenen Kugelgewölbe eine cylindrische Mauer, welche oft wegen der Beleuchtung mit Fensteröffnungen durchbrochen oder durch Säulenstellungen ersetzt sind; die Laternen lassen sich dann wiederum durch ein kleines Kuppelgewölbe schließen. Fig. 205 zeigt eine solche Anwendung; derartige Laternen können auch bei Kuppelgewölben über vieleckigen Räumen Anwendung finden. Wie schon in Fig. 199 gezeigt, und hierbei auch näher erklärt wurde, wird bei einem Kugelgewölbe über quadratischem Raume die obere Kalotte weggeschnitten und auf den kreisförmigen Ring, der durch Herauswölbung der vier Zwickel nach einer Kugelfläche mit der Diagonale als Durchmesser aus den Ecken hervorgebracht wurde, eine cylindrische Mauer oder auch ein neues ganzes Kugelgewölbe aufgeführt. Solche Verbindungen von Gewölben kommen sehr oft bei Kirchenkuppeln in der Durchkreuzung des Längen- und Querschnittes, oder auch bei großen Treppenräumen 2c. vor.

Nicht selten findet man bei diesen Kuppeln den viereckigen Durchkreuzungsraum übergeführt in einen achteckigen Raum, und diesen sodann durch ein Kreuz-, Kloster- oder Kuppelgewölbe, geschlossen. Fig. 206 A — C zeigt ein solches Beispiel. Der Uebergang vom viereckigen in den achteckigen Raum kann auf verschiedene Weise erreicht werden, z. B. ist derselbe in Figur 206 durch einen Theil eines Cylindergewölbes gebildet, welches entsteht, wenn sich eine gerade Linie parallel zur Diagonale lo, von der Ecke n aus, an den Kreisbogen parallel zum Schildbogen nm als Leitlinie fortbewegt. Ein Schnitt lo senkrecht zur Achse dieses Cylindergewölbes wird ein Theil einer Ellipse sein, die leicht aus dem Kreisbogen nm abzuleiten wäre.

Der achteckige Raum ist dann nach oben hin durch ein achteckiges, halbkreisförmiges Kuppelgewölbe abgeschlossen. Fig. 207 A—D zeigt

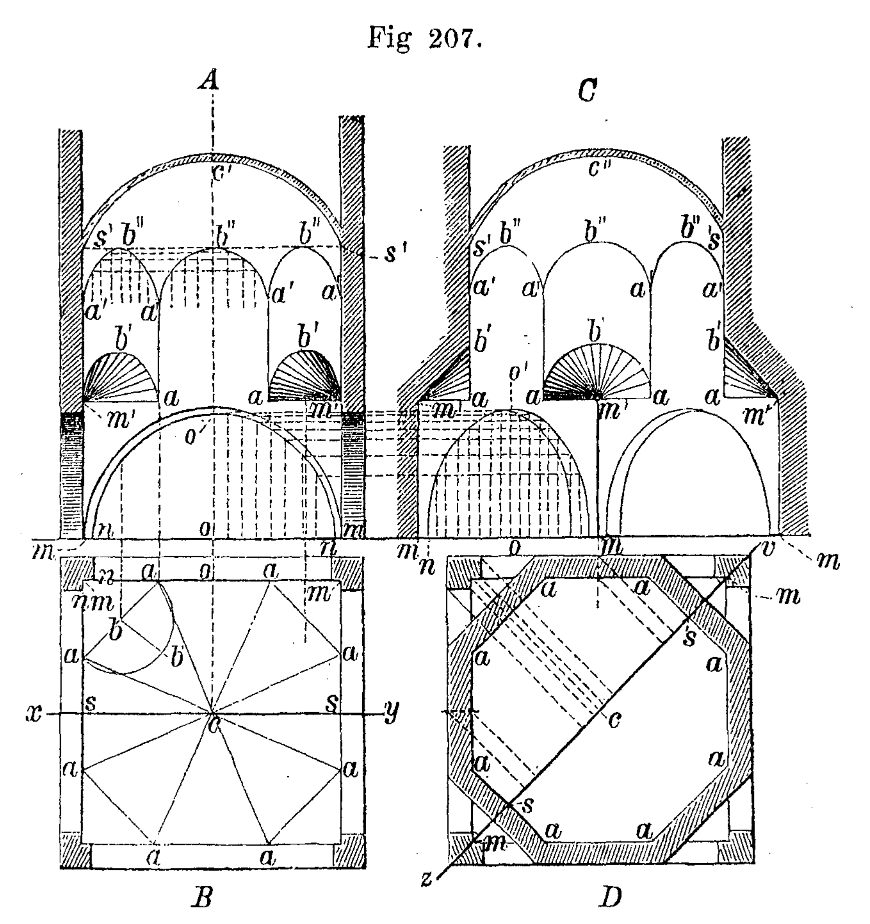
Fig. 206.



den Uebergang vom viereckigen in den achteckigen Raum, gebildet durch vier in den Ecken befindliche nischenförmige Kegelgewölbe. Der achteckige Raum ist hier durch ein Kugelgewölbe, dessen Wölbungslinie einen Halbkreis mit der Diagonale des Achtecks als Durchmesser bildet, geschlossen. Die zusammengehörigen Punkte sind in der Figur mit gleichartigen Buchstaben bezeichnet.

Solche und viele ähnliche Verbindungen von Gewölbeformen findet man bei Kirchen- und anderen großen Gewölben sehr häufig vor; der Uebergang von einem viereckigen in einen achteckigen Raum, wovon wir eben einige Anordnungen näher betrachteten, zeigt sich auch außerdem bei Kirchenthürmen 2c. An denselben wird dies meistens durch mehrere aus den Ecken parallel zur Diagonale des Grundquadrates herausgewölbte Stichbogengewölbe, die treppenartig übereinander hervorspringen, bis unter die parallel zur Diagonale gestellte Achtecksmauer hervorgebracht.

Fig 207.



Wie schon im ersten Kapitel bei den Kreuzgewölben erwähnt wurde, sucht man die elliptisch gekrümmten Gratbögen, wegen ihrer schwierigen Ausführung, soviel wie möglich zu vermeiden, und trachtet man darnach, dieselben durch Spitzbögen und zwar vorzüglich durch die spitzbogigen Kreuzgewölbe, welche im Kirchenbau resp. in der mittelalterlichen Architektur fast ausschließlich zur Anwendung gelangen, zu ersetzen.

Die Grate der Kreuzgewölbe, welche bei Fig. 184 nur als vorspringende scharfe Kanten erscheinen, wurden aus der Laibung heraustretend, durch besondere Profile oder Rippen bemerklich gemacht.

Im Nachfolgenden wollen wir die Construction der verschiedenen Bogenlinien dieser Rippen auf geometrischen Wege zeigen. Fig. 208 zeigt ein solches Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Raume, dessen beide Schildbögen als Spitzbögen, deren Scheitelpunkte jedoch nicht in der Höhe zu liegen brauchen, angenommen sind; ferner befindet sich der Scheitelpunkt des Gewölbes etwas höher, als der höhere Schildbogenscheitel.

Die Scheitellinien a'h' und c'h' können gerade Linien oder auch Kreisbögen sein; letztere sind hierbei angenommen worden. Der halbe

Gratbogen, der also hier nicht mehr als Ellipse aus dem Schildbogen abgeleitet ist, wird bestimmt, indem man durch den Scheitelpunkt aus dem Kämpferpunkte einen Kreisbogen zieht, dessen Mittelpunkt g in der Kämpfer-Ebene liegt.

Im Grundriß Fig. 208 ist derselbe umgelegt und wird erhalten, indem man die gegebene Gewölbescheitelhöhe von h nach f trägt, f mit c verbindet, und in dem Halbirungspunkt dieser Verbindungslinie eine Senkrechte errichtet; der Durchschnittspunkt g ist der Mittelpunkt des Gratbogens. In dem eben angeführten Beispiele wurde angenommen, daß die Wand- und Diagonalbögen verschiedene Scheitelhöhen haben, wie solches auch in der Ausführung am häufigsten der Fall sein wird; sollten die Scheitellinien oder Gratrippen hingegen horizontal werden, so ergeben sich, falls die Höhen der Scheitellinien über der Kämpferebene gegeben sind, ebenso wie bei der Herstellung der Rippen cf gezeigt wurde, alle einzelnen Schild- und Diagonalbögen, wenn für jeden die Spannung und die Höhe bekannt ist, und als Bedingung gesetzt wird, daß alle Mittelpunkte in der Kämpferebene liegen. Aus den einfachen, nur mit Diagonalrippen versehenen Spitzbogenkreuzgewölben entstand nun zunächst das einfache Sterngewölbe, indem jede der vier Gewölbeflächen durch Mittelrippen, die sogenannten Tiercerons, nochmals in drei Theile abgetheilt wurde. Diese Zertheilung nahm nach und nach immer mehr die Gestalt eines netzförmigen Rippengewölbes an, indem jede durch diese Mittelrippen entstandene Gewölbekappe wieder durch andere Mittel- und Zwischenrippen, sogenannte Lieren, zerlegt wurde; es entstanden hierdurch die reichen, ja oft abenteuerlichen Gewölbeformen, deren Grundrißgestaltungen noch weiter unten kurz vorgeführt werden.

Wir wollen nun vor Allem an einem einfachen Sterngewölbe das Verfahren zeigen, wie die verschiedenen Bogenlinien der Rippen, Grate u. s. w. sich auf geometrischem Wege finden lassen.

Fig. 209 sei der Grundriß eines einfachen Sterngewölbes, abc der Horizontalschnitt des Pfeilers in der Kämpferebene, cF der Schildbogen über cG und def ein mittlerer Horizontalschnitt in der Höhe fg; ferner seien die Scheitellinien horizontal und sämmtliche Rippen Kreissegmente, d. h. nicht aus 2 oder drei Bögen zusammengesetzt.

Um nun die Diagonalrippe über AE zu finden, errichte man in e und E Senkrechte und mache et=fg und EH=FG, durch die drei Punkte b, t und H ist nun ein Kreisbogen zu legen, der nach

Fig. 208.

Fig 209.

einfacher Construction gefunden wird. Auf diese Weise wird die Mittelrippe über AC construirt und auch die über AB und AD können so gefunden werden, falls die über AD nicht gestelzt ist. Da dies jedoch hier der Fall ist, so muß auch die Mittelrippe über AB gestelzt werden.

Um vor Allem die Rippe über AD zu finden, ist die Höhe der senkrechten Stellung as anzunehmen, dann errichte man in d eine Senkrechte und mache dq = fq, ferner DK = FG, und beschreibe durch die drei Punkte s, q und K einen Kreisbogen. Um schließlich die Mittelrippe über AB zu finden, errichte man in k, g und B Perpendikel auf AB und mache km = $\frac{1}{2}$ as, gn = fq und BL = FG, und lege nun durch L n und m einen Kreisbogen.

Bei dieser Construction mittels eines gegebenen mittleren Horizontalschnittes geht nun hervor, daß die Mittel- und Diagonal-Rippen, da ihre Mittelpunkte nicht in die Kämpfer-Ebene fallen, nicht mit einer senkrechten Tangente von den Pfeilern aufsteigen. Da dieses nun für das Auge unangenehm ist, außerdem auch durch den schiefen Druck auf die Pfeiler von Nachtheil sein kann, so hat man noch ein anderes Verfahren, nämlich wenn die Scheitellinien gerade oder krumm gestaltet sind, durch die hierdurch bestimmten Scheitelpunkte und Kämpferpunkte Kreisbögen zu legen, deren Mittelpunkte in der Kämpfer-Ebene liegen; hierbei kann natürlich ein mittlerer Horizontalschnitt nicht gegeben sein. Die Construction ist wohl so einfach, daß dieselbe nach diesem Beispiel leicht herzustellen ist.

Ein anderes Mittel ist noch, die Rippen aus mehreren, meistens aus zwei Kreisbögen, die stetig ineinander übergehen, und in ihren Vereinigungspunkten einerlei Tangenten haben, von denen die

untersten alle eine zur Kämpfer-Ebene normale Tangente bilden, zusammenzusetzen. Es kann dieses auf zwei verschiedene Arten erreicht werden, vorausgesetzt ist wieder, daß die Höhe und Gestalt der Scheitellinien oder Gratrippen bekannt sind, sie sollen z. B. wie im vorhergehenden Gewölbe, horizontal sein. In der ersten Bestimmungsweise ist angenommen, daß alle Rippen des Gewölbes bis zu einer gewissen, aber bei allen Rippen gleichen Höhe, mit einerlei Krümmungshalbmesser beschrieben sind und von dieser Höhe an sodann aus einem zweiten Bogen bestehen, der eben der gegebenen Höhe und Spannung entspricht, die zweiten Bögen werden natürlich alle verschiedene Halbmesser erhalten müssen.

Fig. 210 zeigt dieses Verfahren; ABCD stellt ein Viertel des gegebenen Grundrisses dar, und die Scheitellinien wie schon angegeben, sind horizontal. Man drehe die Rippen AE, AD und AC in die Ebene der Rippen AB, errichte die Senkrechte in B, e, c und d von der Höhe der gegebenen Scheitellinien, nehme nun den Mittelpunkt F in der Kämpfer-Ebene für die bis G reichende Krümmung aller Rippen beliebig an, und verlängere die Gerade GF nach rückwärts. Auf dieser Linie liegen dann die Mittelpunkte K, L, H 2c. der zweiten Bögen. Letztere werden ganz einfach gefunden, z. B. für die Rippe AB, wenn c' mit G verbunden, hierauf im Halbirungspunkte eine Senkrechte errichtet wird, welche die verlängerte FG in H schneidet.

In dem zweiten Verfahren, in welchem wiederum die Scheitellinien horizontal angenommen werden, sollen die oberen Bögen der Rippen ebenfalls wie die unteren gleiche Krümmungshalbmesser nachweisen, wobei natürlich die Uebergangspunkte je zweier Bögen ineinander nicht mehr in ein und derselben Höhe sich befinden können.

In Fig. 211 sei ABCD wieder der vierte Theil des gegebenen

Fig. 210.

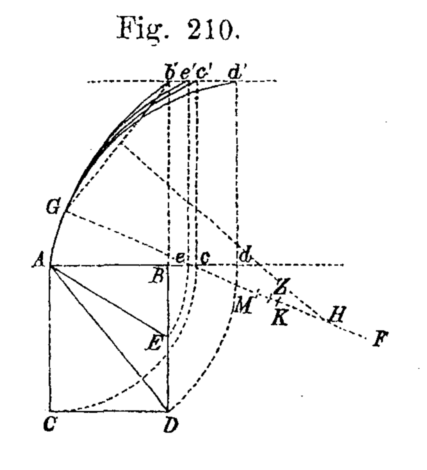
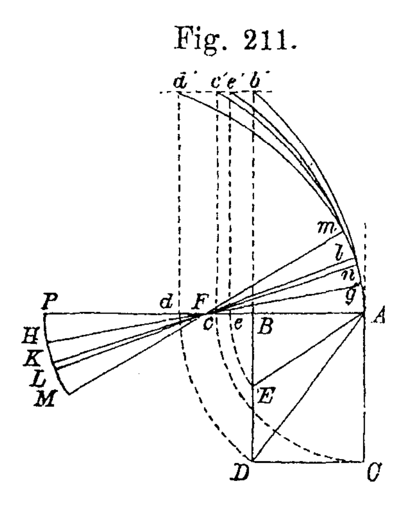


Fig. 211.



Grundrisses und die Linien AD, AE und AC seien wieder gedreh wie vorhin, und auch in den Punkten B, e, c und d die Senkrechten bis zur gegebenen Scheitellinienhöhe gezogen; ferner F der angenommene Mittelpunkt für die unteren Bögen der Rippen und endlich der gemeinschaftliche Halbmesser aller oberen Bögen gleich AP angenommen.

Mit dem Unterschiede FP der beiden Krümmungshalbmesser AP und AF beschreibe man den Kreisbogen PM, in welchem die Mittelpunkte der oberen Bögen liegen. Sie werden erhalten, wenn man mit dem Halbmesser AP, von den Punkten b′c′e′ und d′ aus, den Kreisbogen PM kreuzt. Zieht man nun die Verbindungslinien FH, FK, FL und FM und verlängert dieselben, so findet man in dem Durchschnittspunkte dieser mit der aus F beschriebenen unteren Wölbungslinie die respectiven Uebergangspunkte der zwei Bögen. Jede derselben kann nun aus den Mittelpunkten H, K, L und M beschrieben werden.

In den drei bis jetzt betrachteten Constructionsmethoden der Rippen eines Sterngewölbes (Fig. 209, 210 und 211) wurden die Scheitellinien horizontal angenommen; dieses ist jedoch in der Ausführung selten der Fall, sondern meistens liegen die Scheitel der einzelnen Rippen in verschiedenen Höhen und sind die Scheitellinien alsdann entweder gerade oder krummlinig. Fig. 212 sei nun ein Beispiel, in welchem die Höhen der einzelnen Scheitelpunkte und die

Fig. 212.

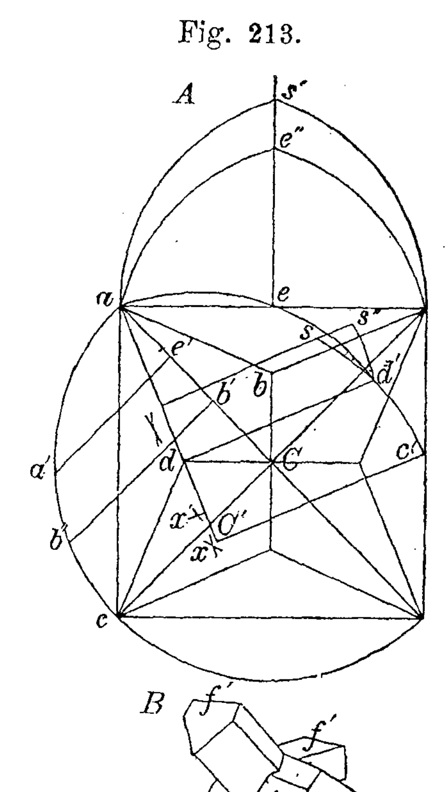
Scheitellinien als geradlinig gegeben sind, und die ganze Constructionsweise nach Fig. 211 vermittels eines gegebenen mittleren Horizontal-

schnittes ausgeführt wird. Was die Annahme der Scheitelpunkte betrifft, so ist durchaus nicht bedingt, daß etwa die der größeren und kleineren Stirnrippen bei rechteckigen Räumen gleiche Höhe haben müssen, oder daß bei einer Scheitellinie nl die drei Punkte ny und l in einer Geraden oder einem Kreisbogen zu liegen brauchen, es ist diese Scheitellinie im Gegentheil beinahe immer gebrochen, indem nur über tn eine Gratrippe vorhanden ist, in no jedoch nur ein vertiefter Grad der Gewölbekappen C und B entsteht. Die Herstellung der einzelnen Bögen geschieht nun vollkommen nach Fig. 208, mit dem Unterschiede nur, daß nun nicht mehr die gleiche Höhe der einzelnen Bögen durchgeht, sondern für jeden einzelnen eben die gegebene Höhe einzusetzen ist. Man sieht zugleich aus dieser Figur, wie man die Form eines solchen Gewölbes vollkommen durch Annahme des mittleren Verticalschnittes in seiner Hand hat.

Im Nachfolgenden sind noch zwei verschiedene Systeme zur Bestimmung der Bögen eines Sterngewölbes gegeben, wie sie uns Ungewitter, „goth. Constructionen" lehrt.

Beide Systeme haben nämlich gemeinschaftlich, daß die sämmtlichen Bögen nach einem Radius gezeichnet sind, jedoch ist die Feststellung der Radien bei beiden verschiedenartig.

Fig. 213.



Es sei Fig. 213 der Grundriß eines einfachen Sterngewölbes.

Man ziehe über aC (halbe Diagonale) einen Viertelkreis, trage den Abstand des Punktes b von der Mitte auf der Grundlinie des Diagonalbogens C nach C', ziehe hierauf eine Senkrechte bis an den Bogen, wodurch b' b'' die Höhe über dem Punkte b giebt.

Ferner fälle man in dem Punkte b oder dem ensprechenden d ein Loth und trage darauf die Länge b'b'' von d nach d', mache dann mit der Länge aC aus a und d' den Kreuzschnitt x, so ist letzterer der Mittelpunkt des Bogens über ad.

Trage dann an die Verlängerung von ad die Länge dC von d nach C' ab, errichte in C' einen Lothriß auf aC' und mache C'c' gleich Cc', ziehe sodann mit

derselben Zirkelöffnung aus d′ und c′ den Kreuzschnitt x′, so ist letzterer der Mittelpunkt des Bogens über dC.

Soll nun der Schildbogen nach demselben Princip construirt werden, so würde die Länge Ce von C nach e′ zu tragen sein, in e′ ein Loth auf aC errichtet werden und die Länge e′a″ die des Schildbogens abgeben, der sodann in derselben Weise wie die übrigen Bögen construirt, die im Bogen ae‴ gezeigte Gestaltung erhält.

Soll nun die Scheitelrippe dC sich bis zum Scheitel des Schildbogens fortsetzen, so wird dieselbe, immer auf dieselbe Weise construirt, die Gestaltung von sd erhalten.

Da jedoch die geringe Höhe des Schildbogens nicht empfehlenswerth ist, so dürfte anzurathen sein, mit der halben Diagonale als Radius, aus einem in der Grundlinie zu suchenden Punkt, Spitzbögen zu construiren, so daß der Schildbogen über ae die Form des Bogens as′ erhält.

Das zweite System beruht darauf, daß nicht das über der Diagonale geschlagene Quadrat als der erzeugende, als der Principalbogen, angenommen ist, sondern daß man die Grundlinie desselben durch ein Aneinandersetzen der Grundlinien der verschiedenen Bögen be, ea und aC bildet, wie in Fig. 214 A und B geschehen ist, dann in C ein Loth fällt und dasselbe gleich der beabsichtigten Scheitelhöhe macht. Wir nehmen letztere, um die sich ergebenden Bögen leichter mit den an dem andern Verfahren gefundenen zu

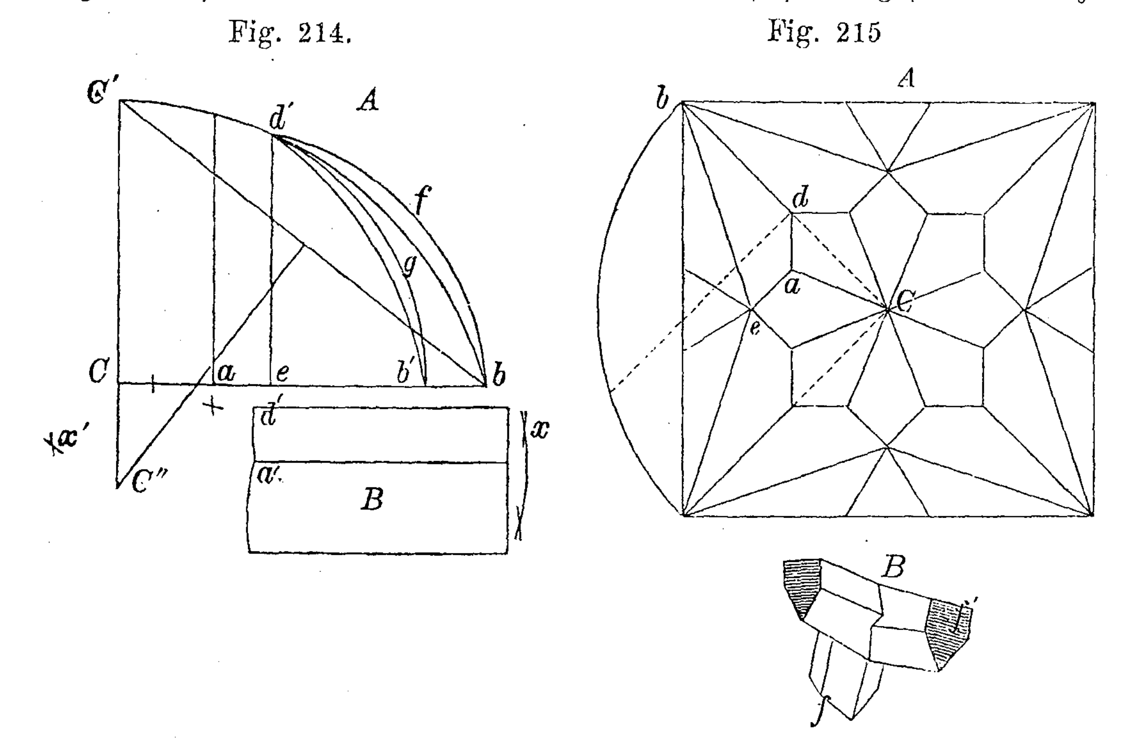
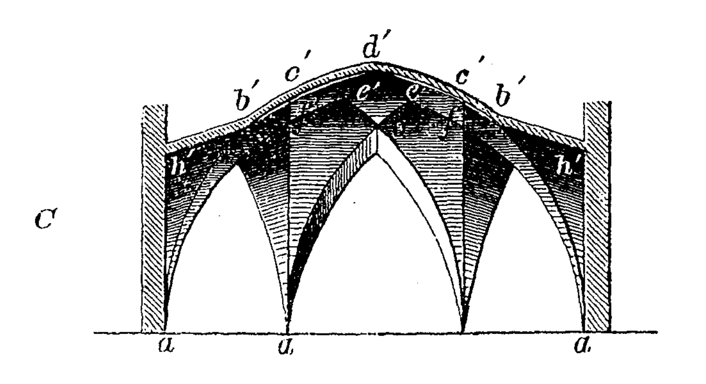


Fig. 214. Fig. 215

vergleichen, der in Fig. 214 angenommenen halben Länge der Diagonale gleich an. Man ziehe dann die Linie b C′, halbire dieselbe und mache in dem Halbirungspunkt ein Lothriß, der nach unten verlängert in seinem Durchschnitt C″ mit der Verlängeruug C′C den Mittelpunkt des Principalbogens abgiebt, welcher nunmehr geschlagen alle einzelnen Bogentheile in sich b e a c 2c. in sich faßt. Um den Bogen d b zu finden, trage man dann in Fig. 215 A d b von e nach b′ in Fig. 214 A, und mache aus d′ und b′, mit der Länge C′C″, einen Kreisschnitt x′, aus welchem der gesuchte Bogen zu schlagen ist.

Die Fig. 215 B zeigt in der perspectivischen Ansicht die Gestaltung des die Durchdringung a in Fig. 215 A bewirkenden Werkstücks, wonach nicht allein die größere Divergenz der in den Rippen a d

Fig. 216.



und ae Fig. 215 A gelegenen Fugen zur Sicherung der Lage beiträgt, sondern die in der Rippe aC gelegene Fuge f (Fig. 215 B) zu demselben Zwecke mitwirkt. Der einzige Unterschied in der Gestaltung der Rippen liegt darin, daß ihre Bogen nach dem letzten Verfahren um etwas flacher werden, wie der Vergleich der Bögen bd′ und b′d′ mit den daran geschlagenen bfd′ b′gd′ zeigt. Die Gestaltung der Gurtbögen kann dann ganz unabhängig von der des Gewölbes geschehen, z. B. in ähnlicher Weise wie bei Fig. 213 schon erörtert ist.

Fig. 216 A—C zeigt einen Kirchenchor, bei welchem ein Spitzbogen über der Diagonale zu Grunde gelegt ist. Durch die angegebenen Buchstaben wird die Austragung der einzelnen Linie ohne weitere Erklärung verständlich sein.

Verschiedene anderweitige Anordnungen von Sterngewölben sind in der Horizontalprojection in Fig. 217 A—D gezeigt.

Fig. 217.

Nachdem von dem Rippensystem der Kreuzgewölbe die Rede gewesen ist, möge noch Einiges über die graphische Construction der Anfänge der Rippen mitgetheilt werden.

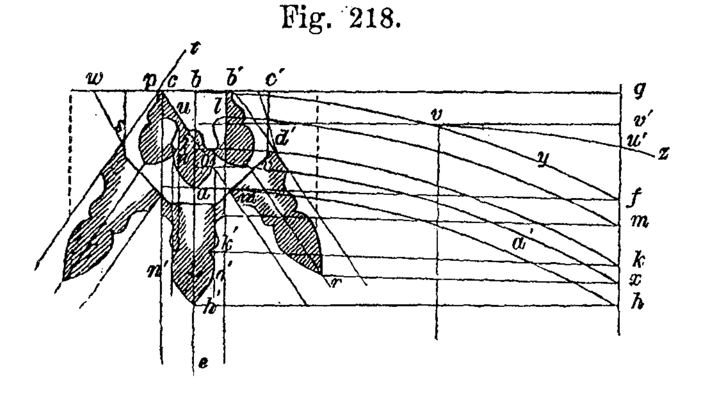
Die Anfänge der Gewölbe, deren Grate nur aus Backstein gebildet sind, verursachen wenig Schwierigkeit in der Herstellung, anders verhält es sich dagegen bei den vorspringenden Rippen aus Werkstein. Es können drei, fünf oder sieben Rippen nebeneinander vorkommen, je nachdem sie aus den Winkeln, der Wand oder der Ecke hervorwachsen, und wiederum können die Rippen entweder frei nebeneinander auf einen Consol oder auf einer Säule stehen, oder sie können ineinander mehr oder weniger so verwachsen sein, daß die Profile in der Nähe des Kämpfers sich durchdringen.

Der einfachste Fall ist in Fig. 218*) gegeben; der Gewölbeanfang besteht aus einer Gurt- und zwei Diagonalrippen, die Höhe und die Radien der verschiedenen Bögen sind gleich, die Mittelpunkte liegen in derselben Grundlinie, und der Rippenanfang beginnt auf einen, aus

*) Ungewitter, goth. Constructionen.

dem Achteck construirten Kragstein. Ueber der Mittellinie der Projection einer der drei Rippen schlage man den Bogen aa' mit dem sich aus den Grundrißverhältnissen ergebenden Radius, und ebenso den Bogen by, welcher durch den äußersten Punkt der Rippe c erzeugt wird. Aus dem Punkt d, in welchem die Rippen von einander frei werden, errichte man dann eine Lothrechte zu der Grundlinie ae, welcher den Bogen by in f schneidet, ziehe durch f eine Linie

Fig. 218.



hg parallel der Grundlinie, so begrenzt dieselbe den Rippenanfang nach oben, indem sie die Fuge für die darauf zu setzenden Rippenstücke ergiebt und zugleich die Ausladung des Werkstückes von der Wandflucht anzeigt. Da nun die übrigen Rippen mit demselben Radius geschlagen sind und in demselben Punkt d von der Gurtrippe frei werden, so bilden ihre Anfänge auch dieselben Bögen, werden also durch ah und fb dargestellt; die obere Lagerfläche gh durchschneidet demnach die Bögen in schiefwinkliger Richtung. Es muß daher das durch diesen Schnitt sich bildende Profil construirt und auf dieser Lagerfläche aufgetragen werden. Schlage zu diesem Zwecke zunächst die den Endpunkten des Rippenprofiles entsprechenden Bögen ik und lm, ziehe aus h, k und m Linien parallel af und aus den erwähnten Endpunkten wieder Linien parallel ae, so geben die Durchschnittspunkte h', k', m' die Endpunkte des Horizontalprofiles. Zu einer genauen Bestimmung derselben sind dann in dem Rippenprofil noch andere Punkte in derselben Weise zu bestimmen, zunächst die äußersten Punkte des Rundstabes no.

Schlage durch dieselben in derselben Weise Bögen bis auf die Linie gh, ziehe von den Durchschnittspunkten h, k nnd x Senkrechte auf ae, und aus n und o zwei Linien parallel ae, so sind die Durchschnittspunkte k', n' und o' die gesuchten Punkte.

Die Projection der Länge ah trage dann in die Projectionen der übrigen Rippen in derselben Weise an, etwa von v nach r, und in

dem Punkte r als Spitze construire das für die Gurtrippen gefundene Horizontalprofil. Von dem Punkt s aus setzt sich dann die Kappenflucht nach dem Schildbogen, und es ist daher der in der Höhe af liegende Punkt dieses letzteren zu bestimmen. Der Schildbogen fängt erst in der Höhe an, in welcher der äußerste Punkt des Rippenprofiles t nach p gekommen ist. Diese Höhe ergiebt sich aus dem Bogen bf in folgender Weise:

Trage tp von b nach u auf der Grundlinie be ab, und mache in u einen Lothriß, welcher den Bogen bf in v schneidet, so liegt der Anfangspunkt des Schildbogens in der Höhe des Punktes v über der Grundlinie. Soll nun der Schildbogen mit dem Radius der übrigen Bögen, an welche die Kappen anschließen, also des Bogens bf geschlagen sein, so ergiebt die Länge v'f die Weite, um welche er in der Höhe af vorgerückt ist. Trage dieselbe daher von p nach w und ziehe die Linie sw, so ist die Begrenzung des an dem Rippenanfang sitzenden Kappenstückes gefunden.

Wenn aber der Schildbogen mit einem andern Radius geschlagen ist, so verlängert sich die Länge pw. Gesetzt, der Radius sei kleiner als der von bf, und der Mittelpunkt sitzt in der Höhe v, so ziehe durch v eine Linie parallel ae, schlage aus einem in derselben gelegenen Punkt den Bogen vz, welcher die Linie gh in u' schneidet, trage u'v' von b' nach c', so ist die in der rechten Hälfte der Figur angetragene Linie c'd' die Begründung der Kappen. Die Ausladung der Diagonalrippen bestimmt zugleich, wie die punktirten Linien andeuten, die Breite des Werkstückes, diese Breite behält ebenfalls der in die Mauer eingemauerte Werksteinblock.

Die zusammengedrängten Rippenanfänge sind, so weit die Werkstücke in die Mauer einbinden, als Auskragungen der Mauer zu betrachten, aus welchem Grunde auch in der That Kragsteine, anstatt der Dienste ꝛc. angeordnet werden. In Fig. 219 A und B ist dieser Fall dargestellt und zwar sei hier angenommen, daß der Rippenanfang aus zwei Werkstücken abcd und abef bestehe.

Der untere Werkstein kann nun fortbleiben und lediglich durch eine Console bei abg ersetzt werden. Das Profil über ab ist in dem Grundrisse schraffirt angegeben. Es würde mithin der Gewölbeanfang erst bei der Linie ab beginnen, wobei jedoch die ursprünglich angenommene Halbkreis- oder Spitzbogenlinie unvollständig erscheint und für das Auge nicht ansprechend sein wird.

Die Rippenanfänge können ebenso wie mit den Wänden, auch

mit den Pfeilern in Verbindung stehen, und zwar entweder stehen di Rippen der Gurt- und Diagonalbögen direct auf den Pfeilern, ode sie sind mit letzteren verwachsen.

Ein Beispiel von letzterer Anordnung ist in Fig. 220 A und I gegeben. Es seien hier nur die Gurtbögen profilirt, während di Gurt- und Diagonalbögen eine scharfe Kante haben.

Fig. 219.

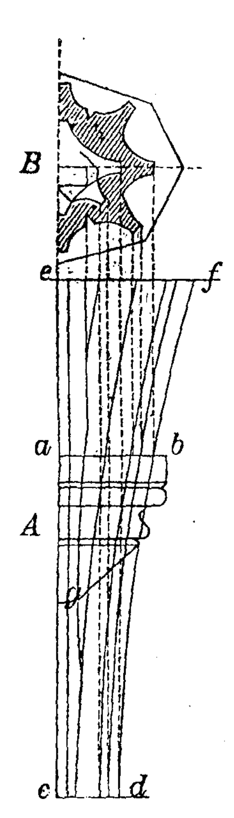
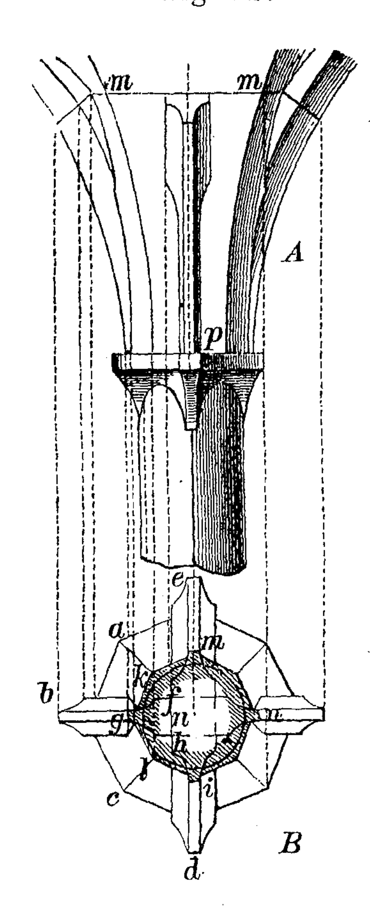


Fig. 220.



Um das Herauswachsen der Rippen aus dem Pfeiler zu ermöglichen, ist es nothwendig, daß die Seitenwerkstücke, welche an den Kappenflächen sich fortsetzen, in einer von der Bogenlinie der Rippen abweichenden Linie sich erheben, bis zu der Höhe, in welcher die Rippengewölbe völlig frei geworden sind.*)

Ist nun abcde die Horizontalprojection des oberen Lagers des im Aufriß dargestellten Rippenumfanges, so entspricht der untere auf dem Kapitel liegende Grundriß nicht der durch die Punkte fghc, sondern der durch kgli begrenzten Figur. Es wird also diese letztere

*) Ungewitter, goth. Constructionen.

dadurch erreicht, daß die Diagonalbögen mitsammt der Kappenflucht in den Punkten m m einen Knick bilden.

Indessen könnte der Diagonalbogen immerhin nach einer reinen Bogenlinie gebildet sein, und nur der Bogen, welchen man sich durch die Punkte n geschlagen denken kann, jenen Knick erhalten. Bei der obigen Haupteintheilung der Gewölbe wurden in dem zweiten Capitel, bei den nach Projectionsflächen gebildeten Gewölbeformen, die sogenannten Fächer- oder Trichter-Gewölbeformen erwähnt; die Entstehung derselben wollen wir nun näher betrachten.

Nimmt man als Grundriß eines Gewölbes ein Quadrat und über den Seiten desselben irgend eine Bogenlinie an, und es bewege sich die Hälfte einer Bogenlinie um eine im entsprechenden Eckpunkte des Quadrates senkrechte Rotationsachse, so wird eine Rotationsfläche entstehen, welche, in allen vier Ecken angebracht, die Grundform des Trichter- oder Fächergewölbes bildet.

Fig. 221 zeigt den Grundriß eines derartigen Fächergewölbes. Der zwischen den vier Viertelkreisen, die bei der Rotation durch die Scheitelpunkte der Wandbögen erzeugt werden, liegende offene Raum c d c d c wird gewöhnlich durch ein scheitrechtes Gewölbe geschlossen, man legt aber auch nicht selten in diese Ebene einen jene vier Viertelkreise tangirenden Kreis, der durch eine aus der Laibung hervortretende Rippe ausgezeichnet wird; dieser innere Raum läßt sich dann noch durch ein kleines flaches böhmisches Gewölbe abdecken.

Fig. 222 zeigt die äußerliche Form eines solchen Fächergewölbes, außerdem ist die Wölbungsart ebenfalls deutlich zu erkennen.

Fig. 221.

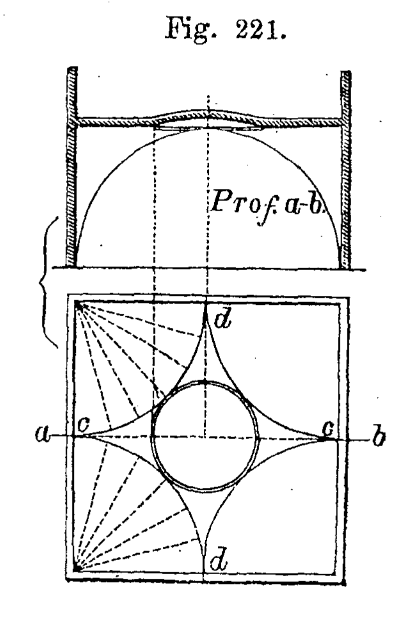
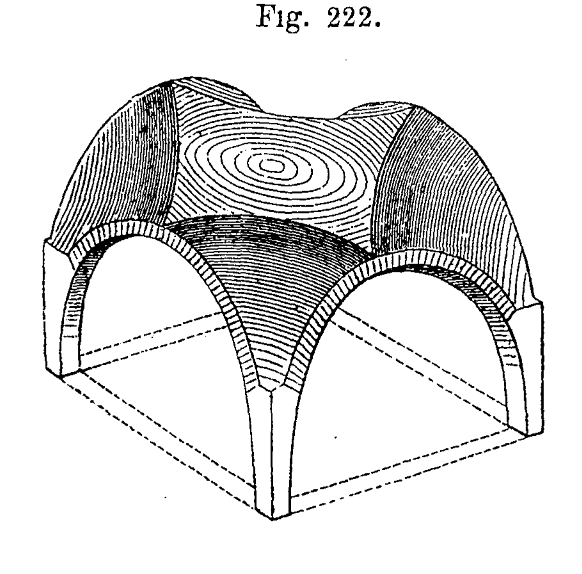
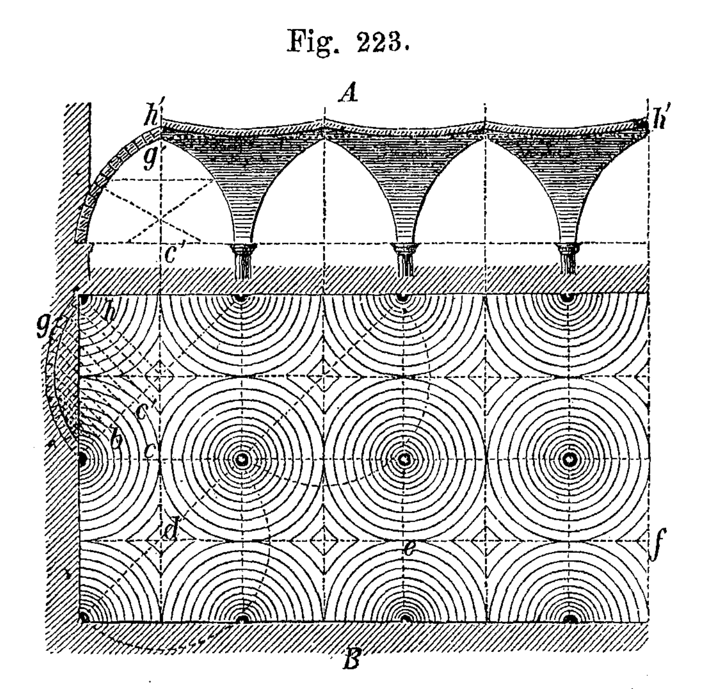


Fig. 222.



Eine andere Weise das Gewölbe zu schließen veranschaulicht Fig. 223 A und B. Es wird hierbei über die Diagonale a b ein Kreis zu Grunde gelegt; bei dieser Annahme erhalten die Gewölbelinien über den Quadratseiten die Form eines Spitzbogens, dessen Schenkel aus Kreissegmenten bestehen, die sich ergeben, wenn man

Fig. 223.



die halbe Quadratseite b c auf die Diagonale nach b c′ bringt und die Senkrechte c′ g′ zieht, worauf b g als gesuchter Spitzbogenschenkel erhalten wird, wie ihn die Schnittlinie b c d f im Aufriß (Fig. 223 A) in seiner Zusammensetzung zeigt. Der Segment b g macht an den Hauptecken eine Vierteldrehung, an den Zwischenpunkten eine halbe und um die mittleren Stützpunkte eine ganze Drehung. Jeder Punkt des Quadranten b h, welcher höher als Punkt g′ liegt, beschreibt einen kleineren Bogen, als die unterhalb g′ gegebenen Punkte, und werden die Bogen immer kleiner, je näher der erzeugende Punkt liegt, während der Punkt h selbst keine Drehung mehr macht, woselbst das Gewölbe seinen Schlußpunkt hat. Die Punkte g′ und h′ entsprechen den Punkten g und h des im Grundriß umgeklappten Bogens, auf welchem auch die Theilung der Steinschichten stattfindet.

Die Trichter- oder Fächergewölbe sind meistens an ihrer inneren Fläche sehr reich verziert, diesen Verzierungen liegen immer von den Pfeilern oder Ecken im Grundriß radial ausgehende Erzeugungslinien, dann auch horizontale um die Pfeiler sich bewegende Parallelkreise zu Grunde, die als Hauptlinien besonders hervortreten.

Mit ganz glatten Flächen dürfte das Gewölbe wohl niemals vorkommen, mindestens canelirt man die Fläche, wie in der Börse zu Frankfurt a/M.

Besonders häufig ist dies Gewölbe in England angewendet, mit zahlreichen aufsteigenden Rippen (Meridianen), welche durch horizontale (Zonen) verbunden sind. Vielfach fehlen auch die horizontalen Ringe, und die Rippen (in geringerer Anzahl) vereinigen sich in der Nähe der Scheitel meist zu stern- oder netzförmigen Figuren, wobei aber die verschiedenen Rippen häufig nicht durchweg gleiche Krümmungen bekommen können.

Ein derartiges Gewölbe kann dann eigentlich nicht mehr Fächer-, sondern sollte Palmengewölbe genannt werden, weil die Rippen sich wie die Blattstengel einer Palme ausbreiten.

Diese Gewölbeform kommt außer in England auch in den Bauten des deutschen Ordens häufig vor und ist am schönsten durchgebildet in dem Convents-Remter zu Marienburg.

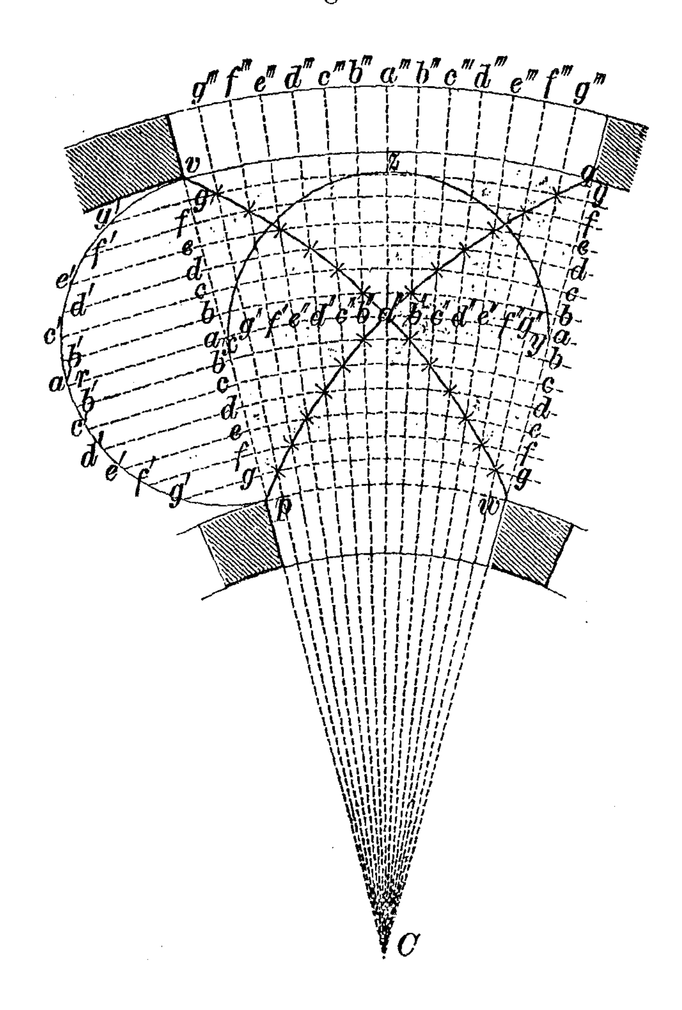
Zum Schlusse möge noch eine Mittheilung folgen über das

Ringförmige Kreuzgewölbe (Fig. 224).

Es ist dieses die Durchdringung eines halbkreisförmigen Ringgewölbes mit einem konoidischen Gewölbe, welche beide denselben Halbkreis als Leitkurven haben. Die Grate solch eines Kreuzgewölbes zeigen sich nun auch in der horizontalen Projection nicht mehr als gerade Linien, sondern als Curven. Das Ringgewölbe mit seinem Erzeugungskreis vrp und die Oeffnung vq für das Kreuzgewölbe seien gegeben, so wird offenbar, da vq größer ist als wp, über vq eine gedrückte und über pw eine überhöhte Ellipse entstehen. Im Uebergange dieser beiden wird nun auch auf dieser konoidischen Fläche ein Halbkreis als Verticalschnitt vorkommen, der denselben Durchmesser vp wie die Leitlinie des Ringgewölbes hat, nämlich in xy resp. a—a; theilt man nun die beiden Halbkreise über vp und xy in gleiche Theile, zieht durch abc u. s. w. Parallelkreise, und zieht von c die Radien strahlenförmig, so erhält man im Durchschnitt der gleichnamigen Linien Punkte in der Horizontalprojection für die Diagonalbögen. Die Bögen über vq und pw werden nach Vergatterung aus dem Halbkreise va′p ermittelt.

Das Schraubengewölbe, welches hauptsächlich bei Treppenanlagen Anwendung findet, entsteht, wenn in einem Ringgewölbe die Kämpferlinien in Schraubenlinien übergehen. In ganz derselben

Fig. 224.



Weise kann auch das schraubenförmige Kreuzgewölbe aus dem ringförmigen Kreuzgewölbe abgeleitet werden; diese Anwendung kommt aber höchst selten vor.

Halle a/S. Druck von Otto Hendel.